L'ESSENTIEL Cerveau & Psycho

La musique stimule :
- l'apprentissage
- la mémoire
- la plasticité cérébrale
- les émotions…



M 03690 - 4 - F: 6,95 € - RD

L'ESSENTIEL - NOVEMBRE 2010 - JANVIER 2011

France métro.: 6,95€, Bel.: 8,20€, Lux.: 8,20€, Maroc: 90 DH, Port. Cont.: 8,90€, All.: 10€, CH:15FS, Can.: 11,50ww$, USA: 9$,TOM S.:1170XPF



www.cerveauetpsycho.fr
Pour la Science,
8 rue Férou, 75278 Paris cedex 06
Standard : Tel. **01 55 42 84 00**

Directrice de la rédaction – Rédactrice en chef :
Françoise Pétry

L'Essentiel Cerveau & Psycho
Rédactrice : Émilie Auvrouin

Cerveau & Psycho
Rédacteur : Sébastien Bohler

Pour la Science :
Rédacteur en chef adjoint : Maurice Mashaal
Rédacteurs : François Savatier, Marie-Neige Cordonnier, Philippe Ribeau-Gesippe, Bénédicte Salthun-Lassalle, Jean-Jacques Perrier

Dossiers Pour la Science :
Rédacteur en chef adjoint : Loïc Mangin
Rédacteur : Guillaume Jacquemont

Directrice artistique : Céline Lapert
Secrétariat de rédaction/Maquette :
Annie Tacquenet, Sylvie Sobelman, Pauline Bilbault, Raphaël Queruel, Ingrid Leroy

Site Internet : Philippe Ribeau-Gesippe

Marketing : Heidi Chappes
Direction financière : Anne Gusdorf
Direction du personnel : Marc Laumet
Fabrication : Jérôme Jalabert, assisté de Marianne Sigogne
Presse et communication : Susan Mackie
Directrice de la publication et Gérante :
Sylvie Marcé
Conseillers scientifiques : Philippe Boulanger et Hervé This
Ont également participé à ce numéro : Bettina Debû, Hans Geisemann

Publicité France
Directeur de la publicité : Jean-François Guillotin (jf.guillotin@pourlascience.fr), assisté de Nada Mellouk-Raja
Tél. : 01 55 42 84 28 ou 01 55 42 84 97
Télécopieur : 01 43 25 18 29

Service abonnements
Ginette Bouffaré : Tél. : 01 55 42 84 04
Espace abonnements :
http://tinyurl.com/abonnements-pourlascience
Adresse e-mail : abonnement@pourlascience.fr
Adresse postale :
Service des abonnements - 8 rue Férou - 75278 Paris cedex 06

Commande de dossiers ou de magazines :
02 37 82 06 62 (de l'étranger : 33 2 37 82 06 62)

Diffusion de Pour la Science
Canada : Edipresse : 945, avenue Beaumont, Montréal, Québec, H3N 1W3 Canada.
Suisse : Servidis : Chemin des châlets, 1979 Chavannes - 2 - Bogis
Belgique : La Caravelle : 303, rue du Pré-aux-oies - 1130 Bruxelles
Autres pays : Éditions Belin : 8, rue Férou - 75278 Paris Cedex 06



Françoise PÉTRY

Le cerveau virtuose

Le virtuose fascine. Il maîtrise la technique, il domine la partition, il apprivoise son instrument. Niccolo Paganini (1782-1840) est l'un des exemples les plus célèbres. Travailleur acharné, il était considéré comme un génie. Ne se contentant pas d'être un « simple » interprète, il composa 24 *Caprices pour violon solo*, qui passèrent longtemps pour injouables... sauf par lui. Ce fut une critique souvent adressée aux œuvres écrites pour virtuose : elles sont des défis tels pour l'instrumentiste qu'elles semblent quitter le domaine de la musique pour entrer dans celui de la seule performance. Pourtant, Paganini fit progresser la technique des violonistes et inventa plusieurs « figures » non de style, mais d'archet.

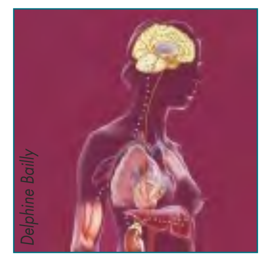
Si la maîtrise de ce virtuose avait atteint la perfection que l'on dit, comment son cerveau procédait-il ? Car c'est bien lui qui est à l'œuvre : contrôler la position des doigts de la main gauche sur les cordes, commander la pression exercée sur l'archet, bouger les doigts suffisamment vite, vérifier la justesse des sons, ajuster le rythme, faire passer des émotions, etc. Le violoniste joue avec ses doigts, ses mains, ses bras, son corps... et son cerveau. Les défis sont nombreux : les deux mains doivent être coordonnées, mais indépendantes ; tout en restant autonomes, les systèmes moteur et auditif, ainsi que celui des émotions, interagissent. La mémoire est bien sûr sans cesse sollicitée. On dit celle des musiciens étonnante.

La musique elle-même fait preuve... de virtuosité. Si le cerveau modèle les sons, faisant naître une symphonie d'une succession de notes, les neuroscientifiques montrent que la musique agit sur le cerveau de multiples façons. Sur sa morphologie, en augmentant les zones du cortex dédiées aux mains de l'instrumentiste. Sur diverses fonctions cognitives : elle renforce la mémoire et la coordination motrice ; chez l'enfant, elle facilite l'apprentissage de la lecture et la concentration. Mais on découvre qu'elle a aussi un effet thérapeutique dans certaines pathologies : par exemple, elle améliore la récupération de la parole chez les personnes victimes d'un accident vasculaire cérébral. Quant aux personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer, la musique reste l'un des derniers liens qui les relient au monde. D'ailleurs, parmi tous les effets de la musique, le principal n'est-il pas sa capacité à renforcer les liens entre les hommes ? À consommer sans modération et à tout âge !



Vous avez l'oreille musicale !

18



Delphine Bailly

La musique adoucit les mœurs

30



n° 4 - Trimestriel novembre 2010-janvier 2011





L'effet Château Lafite

34



© Ch. Lafite Rothschild/Delphine Maratier

En couverture : Stefanolunardi / Shutterstock - L'Essentiel

Les effets de la musique

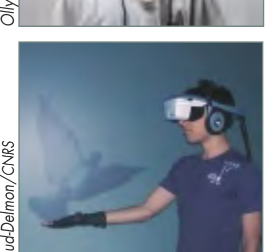
La musique des mots
64

Raphael Queruel

Des défis pour le cerveau

Olly / Shutterstock - C & P

L'amusie congénitale, un handicap musical
72



I. Viaud-Delmon/CNRS

Entendre dans un monde virtuel
80

Repenser la musique

Emmanuel Bigand, professeur de psychologie cognitive, membre de l'Institut universitaire de France, dirige le Laboratoire d'étude de l'apprentissage et du développement, UMR 5022, à l'Université de Bourgogne, à Dijon.

La musique accompagne nos vies, de la naissance à nos dernières heures et en scande les étapes les plus fondamentales. Bien avant de naître, le bébé mémorise les œuvres musicales et peut ensuite les reconnaître un an après sa naissance, même lorsqu'elles n'ont jamais été rejouées. Le petit d'homme préfère entendre la voix de sa maman chantée que parlée. Le bébé est également capable d'analyser des organisations musicales surprenantes, inexplicables par les seuls apprentissages précoces. À l'autre extrémité de la vie, la musique demeure une activité accessible dans les phases avancées des maladies neurodégénératives, alors que les autres activités, linguistiques notamment, disparaissent. Même aux stades ultimes de la maladie d'Alzheimer, la musique parvient encore à réveiller la mémoire et les émotions liées aux événements associés. Des patients atteints de cette maladie, âgés de 99 ans peuvent encore chanter avec une vitalité de jeunes gens les airs de *Boire un petit coup c'est agréable* ou *La java bleue*.

Ces observations, qui relient le bébé au vieillard, suffisent pour souligner l'immense pouvoir de la musique. Le bébé naît « musical » et sa vie entière est ensuite nourrie de sonorités qui impriment sa mémoire des émotions associées aux expériences qui jalonnent son existence. Le vieillard meurt « musical », car ces sonorités ont le pouvoir de synthétiser en quelques poignées de secondes l'ensemble des expériences vécues. Il n'est donc pas surprenant que la musique soit omniprésente dans notre société, et il en va ainsi dans toutes les cultures du monde, même dans celles qui restent préservées de l'invasion des nouvelles technologies du son.

En Transylvannie, dans le petit village tzigane de Ceuas, l'eau courante n'arrive pas dans les maisons de terre que seul un petit tonneau en fer transformé en poêle à bois chauffe durant l'hiver. La musique y résonne pourtant en permanence, le plus souvent à l'extérieur des maisons, malgré les températures négatives. Comme le montre remarquablement l'ethnomusicologue Filippo Bonini Baraldi, doctorant à l'Université Paris Ouest-Nanterre, la musique est là pour accompagner et fixer l'histoire – la vie, la mort, les joies et les peines – de chacun des individus de la communauté. Le musicien tzigane a le pouvoir de manipuler l'émotion en choisissant dans son répertoire les airs et le style d'interprétation appropriés aux circonstances.

Le pouvoir thérapeutique de la musique

L'intensité des activités musicales n'est pas un fait récent dans la phylogenèse. Les pratiques musicales remontent probablement aux temps les plus reculés, en attestent des flûtes vieilles de plus de 40 000 ans. Par ailleurs, on n'a identifié aucune civilisation ayant abandonné durablement les activités musicales, à l'exception de quelques intermèdes totalitaires de courte durée.

Pour les sciences humaines et les sciences de la vie, l'heure n'est donc plus au constat du pouvoir de la musique. Les observations – de celles des ethnomusicologues à celles des neuroscientifiques – sont si convergentes qu'il n'y a plus aucun doute : la musique est bien plus que la merveilleuse « bavaroise à la crème de l'oreille » qui pourrait disparaître de la Terre sans que la vie des hommes en soit changée, comme le soutenait le cognitiviste Stephen Pinker, de l'Institut de technologie du Massachusetts.

Depuis une dizaine d'années, les neuropsychologues n'ont cessé d'accumuler de nouvelles preuves du pouvoir de la musique. Ses vertus médicinales ont été vantées depuis des temps

immémoriaux, mais il restait difficile de trier le bon grain de l'ivraie dans l'ensemble des observations musicothérapeutiques, et de reconnaître ce qui relève de la pensée magique, d'un effet placebo ou d'une action thérapeutique réelle et spécifique.

Aujourd'hui, les neurosciences cognitives apportent des éléments validés confirmant que la musique agirait comme un neurostimulateur et un neuroprotecteur. Ainsi, on constate des effets bénéfiques dans le cas d'atteintes cérébrales qui entraînent des déficiences cognitives et motrices graves. Il ne s'agit plus d'affirmer que l'écoute ou la pratique musicale peut agir sur telles ou telles composantes psychoaffectives en régulant, par exemple, l'humeur de certains patients. Il s'agit bel et bien de montrer que la musique stimule la plasticité cérébrale et contribue, par la réorganisation des circuits neuronaux affectés, à améliorer la récupération de la motricité ou de la parole.

Une symphonie cérébrale

L'ouvrage récent d'Oliver Sacks, *Musicophilia : la musique, le cerveau et nous*, constitue une belle introduction sur ce pouvoir surprenant de la musique. L'auteur y rapporte que les activités musicales sont préservées dans de nombreuses atteintes cérébrales et comment cette résistance de la musique peut contribuer à définir de nouvelles pratiques thérapeutiques. Aujourd'hui,



The Gallery Collection / Corbis

1. Dans l'Antiquité, la musique était appréciée. Sur cette peinture murale de la tombe d'Ankerkhe, le défunt et son épouse écoutent un aveugle jouer de la harpe.



The Art Archive / Corbis

2. ***L'Orchestre de l'Opéra,*** peinture de Edgar Degas (1870).

quatre laboratoires français sont impliqués dans EBRAMUS (pour *Europe Brain and Music*), un large projet européen de recherche sur les effets bénéfiques de la musique en neuropsychologie. L'enjeu est de mieux comprendre d'où vient son pouvoir sur le cerveau humain.

Ce numéro de *L'Essentiel Cerveau & Psycho* offre un aperçu de cette question. Les articles de la première section présentent la musique comme une compétence cognitive largement partagée entre les civilisations et au sein des groupes sociaux. Cette compétence universelle repose sur les effets émotionnels de la musique. La deuxième partie présente les découvertes scientifiques les plus récentes. La musique est un vecteur de plasticité cérébrale qui modifie le cerveau des musiciens experts, et des adultes non musiciens qui commencent tardivement un apprentissage musical.

La pratique ou l'écoute de la musique activent simultanément et de façon coordonnée de nombreuses aires du cerveau. Cette « symphonie cérébrale » pourrait bénéficier à de nombreuses compétences cognitives non musicales, ce qui expliquerait pourquoi la musique a des effets bénéfiques sur le développement intellectuel de l'enfant, pourquoi elle ralentit le vieillissement cognitif et améliore la mémoire et, plus généralement, d'où lui viennent ses nombreux effets thérapeutiques.

La musique au cœur de l'homme

La lecture de ces deux parties conduira sans doute le lecteur à s'interroger sur l'origine de cette compétence. En général, les compétences cognitives, qui sont largement partagées parmi les hommes, précoces et qui résistent aux atteintes cognitives graves, sont supposées être apparues très tôt au cours de l'évolution. De fait, il est tentant de penser avec Steven Mithen, l'auteur de l'ouvrage *The Singing Neanderthal*s, que ce type de compétence a été sélectionné par l'évolution et pourrait être inscrit dans le bagage génétique de l'espèce. Dans cette perspective, l'étude des anomalies musicales qui est abordée dans la troisième partie du numéro devient passionnante. Comment peut-on vivre sans musique ? Pourquoi pouvons-nous détester la musique ? L'amusie provient-elle de la perte d'un gène musical ? Les créations musicales contemporaines nous conduisent-elles, comme certains ont pu le soutenir, au-delà des capacités musicales du cerveau humain ou au contraire contribuent-elles à le faire évoluer ?

La lecture de ce numéro montrera au lecteur combien la musique s'enracine profondément dans notre cerveau. Ces découvertes récentes des neurosciences cognitives devraient conduire notre société et nos institutions éducatives à repenser en profondeur la place et la fonction de la musique. Les pratiques musicales ne relèvent pas d'un simple loisir, d'un simple art superfétatoire. Pour des raisons qui nous échappent encore, elles touchent au plus profond de notre cerveau, en coordonnant l'activité de nombreux circuits corticaux et sous-corticaux qui sont associés à des expériences cognitives et affectives ayant de très fortes implications pour la mémoire. La musique est au cœur de l'homme. Elle ne se limite pas à un extraordinaire moyen d'expression de sentiments. Elle est, comme le notait le chef d'orchestre suisse Ernest Ansermet en 1963, « une expression esthétique de l'éthique humaine ». À ce titre, elle contribue au développement sensible, cognitif et spirituel de l'homme. ■

Bibliographie

O. Sacks, *Musicophilia : la musique, le cerveau et nous*, Seuil, 2009.

S. Mithen, *The Singing Neanderthals : The Origins of Music, Language, Mind and Body*, Harvard University Press, 2006.

Sur le Net

http://leadserv.u-bourgogne.fr/fr/membres/emmanuel-bigand

http://leadserv.u-bourgogne.fr/ebramus/

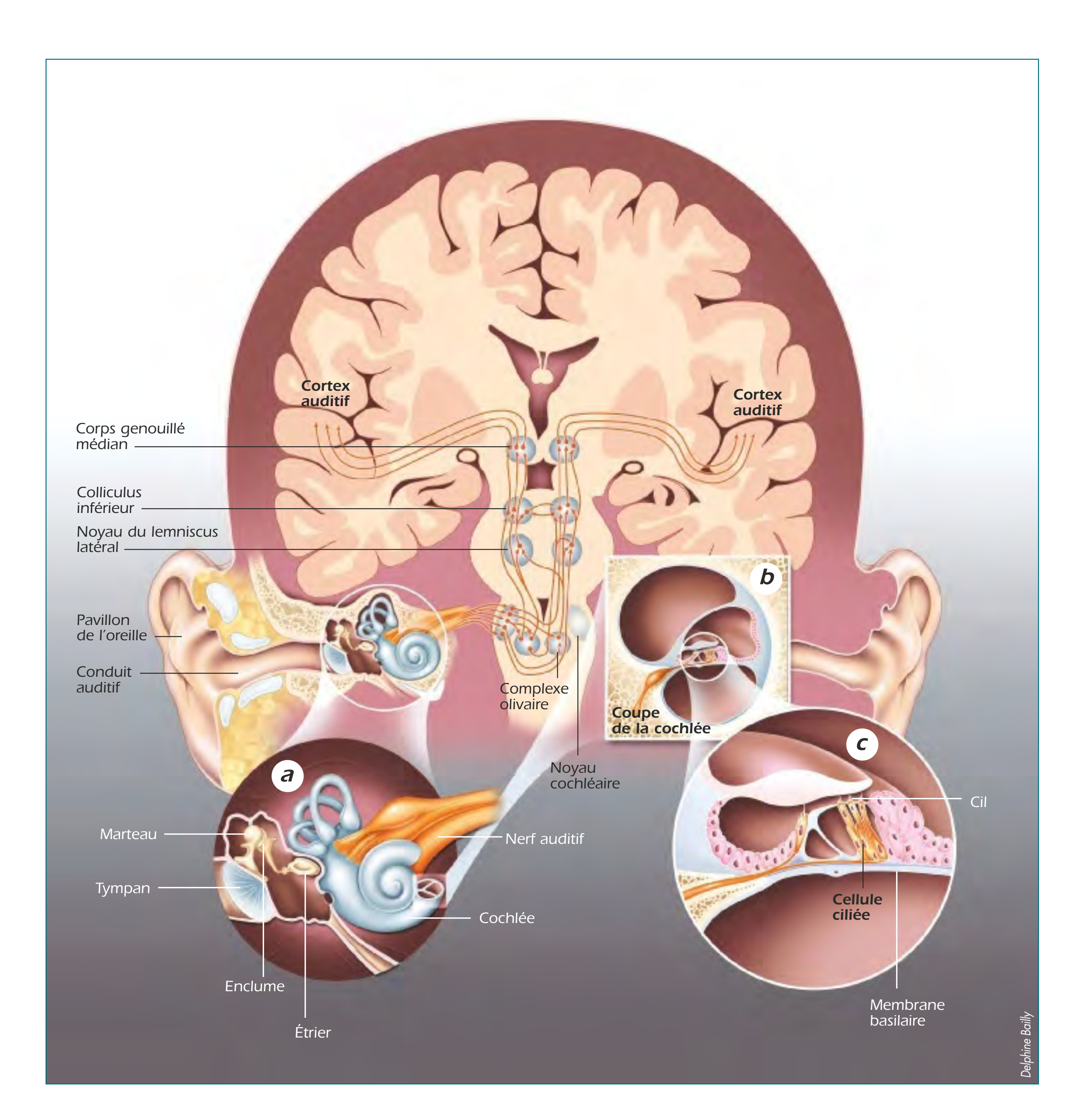


Olly / Shutterstock

Musique pour tous

La musique est omniprésente, quels que soient les âges de la vie, quelles que soient les cultures. Musique pour enfants ou pour adolescents, musique populaire, musique classique, savante, d'Occident, d'Orient, la liste serait sans fin. Chacun trouve une musique qui lui convient selon les circonstances, selon son humeur. La musique fait naître des émotions et représente un lien social privilégié.

La perception des sons… et de la musique



La musique est constituée d'une succession de sons, qui sont traités par le système auditif comme n'importe quel son. Si les premières étapes sont communes à tous les sons, les sons musicaux subissent ensuite des traitements qui leur confèrent une connotation émotionnelle particulière. Mais pour comprendre comment ils sont perçus, il faut revenir sur le traitement des sons par le système auditif.

Chaque son parvenant à l'oreille entre dans le pavillon et se propage dans le conduit auditif où il rencontre le tympan *(a)*. Les vibrations de l'onde sonore mettent en mouvement le tympan lié à trois petits os, nommés osselets : le marteau, l'étrier et l'enclume. Ces premières étapes amplifient les vibrations qui atteignent la cochlée, l'organe récepteur de l'audition. C'est la cochlée qui permet de transformer les vibrations acoustiques en impulsions nerveuses véhiculées par le nerf auditif.

L'étrier transmet ses vibrations au liquide qui emplit la cochlée, et chaque vibration, caractérisée par sa fréquence et son intensité, circule dans la spirale de la cochlée *(b)*. Sous l'effet des mouvements du fluide, la membrane basilaire qui tapisse l'intérieur de la cochlée se déforme. Or cette membrane porte des cellules ciliées *(c)*. Les cils bougent au gré des déformations que subit la membrane basilaire, ce qui a pour conséquence d'ouvrir ou de fermer des canaux ioniques. Ainsi, les cellules ciliées transforment les vibrations en messages électriques, circulant dans le nerf auditif. La membrane basilaire réagit à toutes les fréquences audibles.

L'information électrique transmise par les cellules ciliées et le nerf auditif se dirige vers le cortex cérébral, *via* plusieurs relais : le noyau cochléaire (situé dans le tronc cérébral), le complexe olivaire (où les informations issues des deux oreilles sont comparées), le noyau du lemniscus latéral, le colliculus inférieur et le corps genouillé médian du thalamus. Comme certaines des fibres issues de chaque oreille croisent la ligne médiane, chaque aire auditive reçoit des signaux des deux oreilles. Tout au long du trajet, le message subit des transformations dues aux caractéristiques de l'activité des neurones.

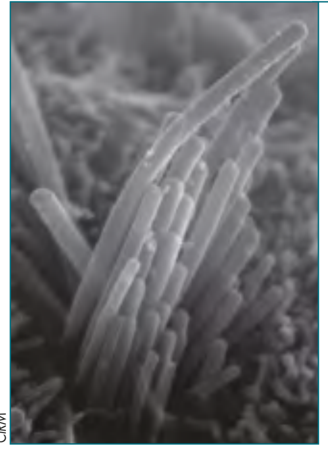
Chaque parcelle de la membrane basilaire n'est activée que par un ensemble limité de fréquences, de sorte que chaque fibre du nerf auditif ne transmet que quelques fréquences. Les cellules ciliées proches de l'étrier sont activées par les sons aigus, celles situées au sommet de la cochlée le sont par les sons de basse fréquence. En outre, plus le son est intense, plus l'amplitude de vibration de la membrane basilaire est grande ; il s'ensuit une augmentation de la décharge des neurones du nerf auditif. Quand le son est composé de plusieurs fréquences, plusieurs populations de cellules ciliées sont activées simultanément.

Toutefois, la fréquence et l'intensité ne sont que deux indices parmi d'autres qui doivent être utilisés pour l'analyse d'une scène auditive mêlant un ensemble d'ondes acoustiques. Cette analyse se ferait tout au long du système auditif, et même au-delà, pour utiliser les informations liées aux autres sens ou au contexte.



PNAS / E. Keithley

Les cellules ciliées externes sont réparties sur trois rangées, alors que les cellules ciliées internes ne forment qu'une seule rangée. Elles sont localisées sur la membrane basilaire qui s'étend tout le long de la cochlée. Elles transforment les informations sonores en signaux électriques véhiculés par le nerf auditif.



CIRM

Les cils des cellules ciliées portées par la membrane basilaire détectent les vibrations transmises par le fluide qui emplit la cochlée. Leurs mouvements entraînent l'ouverture de canaux ioniques qui laissent entrer ou sortir des ions. Cette modification de charge se traduit par l'émission de signaux électriques.

La musique : un langage universel ?

Barbara Tillmann dirige l'Équipe Cognition auditive et psychoacoustique au sein du Laboratoire Neurosciences sensorielles, comportement, cognition, CNRS-UMR 5020, à l'Université Lyon 1.

Musiques d'Orient. Musiques d'Occident. Musiques d'Afrique. Ou d'autres encore. Le langage de la musique est universel et on l'acquiert de façon tout aussi spontanée que l'on apprend à parler. Même un auditeur non musicien est un expert de la perception musicale.

En Bref

- Les invariants musicaux sont des structures musicales communes à presque toutes les cultures.
- Ces invariants sont, par exemple : les notes organisées en gammes, un nombre réduit de notes, une répétition à travers les octaves, etc.
- L'environnement musical dans lequel l'enfant grandit lui permet d'acquérir des connaissances implicites sur la musique, c'est-à-dire sans qu'il ait l'intention de les apprendre.

La musique et le langage sont des traits humains universels. Toutes les cultures produisent de la musique et y sont sensibles. Même sans être un musicien chevronné, chacun sait fredonner une mélodie. Qui plus est, cette capacité serait fort ancienne puisque les archéologues ont découvert un os d'ours percé de quelques trous datant de l'époque néandertalienne : la première flûte de l'humanité.

La musique serait-elle née avec l'espèce humaine ? À l'instar du langage, serait-elle un caractère inné et universel ? Pour aborder cette question, il convient d'examiner s'il existe des traits communs aux différentes musiques du monde – des universaux musicaux – et de rechercher comment les auditeurs perçoivent ces « invariants » musicaux. Dans cette perspective, nous comparerons les caractéristiques des différents systèmes musicaux et observerons comment le cerveau les traite. Nous verrons que la comparaison de la perception musicale des adultes à celle des bébés permet d'étudier les processus innés et les processus acquis, lesquels dépendent de la culture et qu'il existe des invariants musicaux – des structures musicales présentes dans presque toutes les cultures. Nous en déduirons des invariants cognitifs, propres au cerveau de l'auditeur qui traite la musique.

Avant d'aborder cette étude des invariants cognitifs et de leurs substrats, partons à la recherche des invariants musicaux. Pour ce faire, rappelons brièvement les « fondamentaux » de la construction des musiques du monde et commençons avec la musique occidentale. Cette musique, dite tonale, repose sur les 12 notes de la gamme chromatique qui couvrent une octave.

Une gamme, des gammes

Les notes de la gamme se répètent d'une octave à la suivante, du grave à l'aigu. Les hauteurs des notes – leurs fréquences – sont fixées. Parmi les 12 notes, des sous-ensembles de sept notes définissent des gammes dites diatoniques. Par exemple, pour la gamme de *do majeur*, les sept notes sont les suivantes : *do ré mi fa sol la si*. Les deux notes les plus importantes de cette gamme sont le *do* et le *sol*, la première étant la tonique, la seconde la dominante. Le plus souvent, le *do* commence et finit la mélodie. Le choix de certaines combinaisons de notes et la séparation des notes en octave refléteraient des traits « naturels » respectant les lois de l'acoustique, d'une part, et celles de la physiologie du système auditif humain, d'autre part ; ils créeraient une bonne consonance acoustique.



H. Carrera / Shutterstock
Chen Wei Seng / Shutterstock
G. Milic / Shutterstock
J. Richards / Shutterstock
testing / Shutterstock

1. La musique est pratiquée dans toutes les sociétés de par le monde. En revanche, toutes les musiques ne sont pas construites de la même façon. Pourtant, il existe des structures universelles de la musique.

Toutefois, quand on observe d'autres systèmes musicaux, on constate que cette organisation de gamme n'est pas universelle, mais qu'elle dépend de chaque musique du monde. Par exemple, dans la musique arabe ou dans la musique gamelan de Bali et Java, les types de gammes diffèrent ; dans la gamme orientale, on compte 24 notes organisées en différents sous-ensembles de sept notes. De plus, à Bali par exemple, la façon dont les notes sont accordées change selon les orchestres – les hauteurs spécifiques des notes sur lesquelles sont accordés les instruments dépendent du créateur de l'instrument ; elles peuvent donc changer d'un ensemble orchestral à un autre. En revanche, en musique occidentale, tous les orchestres s'accordent sur une même note (le *la* dont la fréquence est égale à 440 hertz). Si la construction des gammes diffère, la musique est-elle vraiment un langage universel ? Où doit-on rechercher les universaux musicaux, s'ils existent ?

La musique est une information acoustique complexe organisée et structurée dans le temps. Les deux principales caractéristiques de cette organisation sont la hauteur des notes et la dimension temporelle – la durée des sons et leur distribution dans le temps.

En ce qui concerne la hauteur des sons, quel que soit le système musical, il existe certaines régularités musicales. D'abord, et nous l'avons évoqué, les notes sont organisées en gammes qui forment une progression discrète de hauteurs : l'ensemble des hauteurs n'est pas continu. Par ailleurs, un nombre réduit de notes (de cinq à sept) est choisi pour les sous-ensembles de la gamme *(sept dans les exemples de l'encadré page 13)*. Les notes se répètent au fil des octaves selon une séquence cyclique du grave à l'aigu (pour la musique occidentale tonale, cette régularité est matérialisée par la séquence répétée des touches d'un clavier de piano).

Quelques universaux

En outre, les notes sont séparées par des intervalles inégaux ; par exemple, en musique occidentale tonale, les écarts entre les notes de la gamme diatonique (par exemple la gamme de *do majeur*), exprimés par rapport à la note initiale, sont les suivants : la deuxième est séparée de la première par deux demi-tons (sur le clavier de piano, une touche noire sépare les deux blanches), la troisième de la première par quatre demi-tons, la quatrième par cinq demi-tons, la cinquième par sept demi-tons, la sixième par neuf demi-tons, la septième par 11 demi-tons et le *do* de l'octave suivante est séparé du *do* initial par 12 demi-tons. On dit



alors que le patron de la gamme de *do majeur* en demi-tons est : 0-2-4-5-7-9-11-12. En le transformant en quarts de tons (0-4-8-10-14-18-22-24), on peut le comparer au patron de la gamme orientale nommée *rast* : 0-4-7-10-14-18-21-24.

Qui plus est, si, comme nous l'avons rappelé, toutes les notes n'ont pas la même importance dans la gamme de la musique occidentale tonale (il existe une tonique et une dominante, mais aussi une note sensible ou encore une sous-dominante, etc.), il en est de même dans la musique indienne où le bourdon joue le rôle de la tonique, ou dans la musique gamelan où ce rôle revient au gong. En outre, l'organisation des notes dont les hauteurs montent et descendent dessine un contour mélodique, dont l'importance se retrouve dans les musiques de toutes les cultures.

En ce qui concerne la dimension temporelle de la musique, il existe trois caractéristiques importantes. D'abord, le rythme (qui définit la durée relative des notes dans un morceau). Il en existe d'innombrables, qui diffèrent entre les pièces musicales et selon les cultures. Quant à la mesure, l'unité de base d'une partition, elle impose une pulsation régulière sur laquelle les patrons rythmiques se superposent. On en compte plusieurs types : la mesure à deux temps ou celle à trois temps – de la valse – par exemple. D'autres, plus complexes, sont des mesures à cinq ou à sept temps qui mêlent des groupements de deux et de trois temps par exemple. Enfin, le tempo représente la vitesse d'exécution d'une œuvre musicale (il est plus ou moins lent ou rapide).

Premiers liens entre musique et cerveau

Diverses structures musicales se retrouvent donc dans toutes les cultures. Pourquoi ? Certains invariants résultent vraisemblablement de la façon dont le cerveau traite les sons. Quelles sont donc ces relations ? Peut-on en déduire des invariants cognitifs ?

La musique, comme n'importe quel son, est traitée par le cerveau qui possède certaines propriétés d'organisation, d'apprentissage, de mémorisation et d'attention. Voyons quelques-unes de ces caractéristiques en relation avec la façon dont est construite la musique.

L'utilisation de notes de hauteurs discrètes permet de les catégoriser ; c'est une caractéristique cognitive de regrouper des événements différents dans une même catégorie selon leurs propriétés similaires. Par exemple, la perception catégorielle des sons participe à la reconnaissance d'une mélodie même si les notes ne sont pas chantées justes. C'est aussi cette capacité qui aide à la reconnaissance des voyelles mal prononcées ou émises dans un environnement bruyant. De même, on distingue deux notes de hauteurs différentes (à condition qu'elles soient séparées d'une différence minimale de hauteur), mais on associe deux notes identiques séparées par une octave (elles n'ont donc pas la même fréquence). Ces deux aspects – les contraintes de perception des hauteurs et le phénomène d'équivalence d'octave – reflètent des caractéristiques du système auditif.

Poursuivons la recherche de liens entre musique et cerveau. C'est le cas du nombre de notes par octave. Limiter ce nombre à cinq ou sept notes (et les répéter dans les différentes octaves) diminue le nombre de données que l'auditeur doit traiter. Cela refléterait les limitations cognitives de la perception et de la mémoire à court terme qui ne pourrait stocker simultanément que quatre à neuf éléments. De plus, prendre des distances inégales entre les notes dans une gamme et leur attribuer des fonctions distinctes facilitent l'encodage et le stockage des informations mélodiques en mémoire (à court et à long termes) : les notes s'organisent autour d'un point de référence – la tonique par exemple – qui sert de point d'ancrage cognitif.

Des bébés universalistes

Pour préciser les universaux musicaux, les réactions des nouveau-nés ou des adultes n'ayant pas été exposés à certaines musiques permettent d'étudier les capacités innées. Certains travaux se sont intéressés à la mémoire et à la perception auditives des bébés, considérés comme des « universalistes », c'est-à-dire capables de percevoir la musique de toutes les cultures.

Dans des expériences dites de préférence, le bébé de 6 ou 12 mois est assis sur les genoux de sa mère et on lui fait écouter des mélodies sans que la mère ne les entende. On change ensuite une caractéristique musicale de la mélodie – la distance entre les notes, le contour mélodique ou la hauteur des notes, selon ce que l'on cherche à étudier – et on regarde quelle chanson le bébé préfère écouter. Par exemple, un bébé regarde plus souvent le haut-parleur qui diffuse une mélodie familière et il ignore celui qui diffuse une musique qu'il ne reconnaît pas. On observe aussi s'il distingue des variations dans la structure musicale. Ainsi, on a montré que les bébés mémorisent mieux les notes quand elles sont séparées de distances inégales, et qu'ils préfèrent la consonance – des sons acoustiquement cohérents ou qui sont « accordés » – à la dissonance.

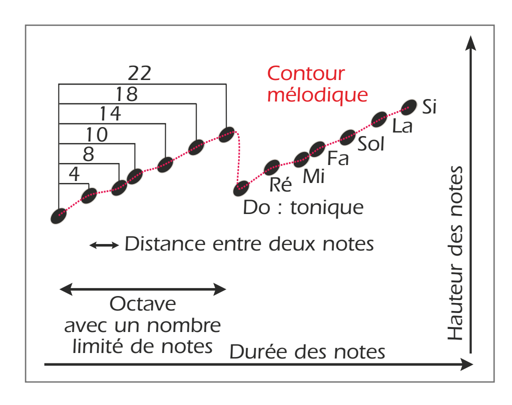
Qui plus est, les bébés prêtent davantage attention aux hauteurs relatives des notes, c'est-à-dire au contour mélodique, qu'à la hauteur spécifique des différentes notes de la mélodie. Ce comportement reflète aussi une caractéristique de la perception des auditeurs adultes. L'importance cognitive de l'information relative s'observe aussi pour la dimension temporelle de la musique : les bébés et les adultes focalisent leur attention sur l'organisation temporelle relative des notes, à savoir le rythme, plutôt que sur les durées absolues de chaque note. Ainsi, on reconnaît une mélodie grâce à son rythme, même si elle est chantée de façon différente – passant d'un registre aigu et d'un tempo rapide à un registre grave et un tempo lent par exemple.

En outre, on observe dans les musiques de différentes cultures que la mesure engendre un comportement de synchronisation : elle crée un cadre de référence temporelle qui permet de taper des mains ou du pied en cadence quand on écoute une mélodie à deux, trois ou quatre temps. C'est aussi grâce à elle que l'on danse sur la musique, que l'on chante et que l'on joue sur différents instruments ensemble. Cette caractéristique peut être décrite comme un invariant cognitif.

Pour trouver d'autres invariants cognitifs liés à la musique, on s'intéresse aussi aux travaux réalisés dans d'autres domaines. La psychologie cognitive a décrit des principes d'organisation pour la perception visuelle, notamment des règles de groupement. L'idée fondamentale est que l'observateur cherche à percevoir une « bonne forme » dans l'information fournie. Pour ce faire, il regroupe des données semblables pour y chercher une continuité. Les regroupements se font comme on le ferait pour des

Les points communs des musiques du monde

Certaines structures musicales sont présentes quelle que soit la culture ; on parle d'invariants musicaux. Il s'agit notamment de la distance variable entre les notes, du nombre de notes par octave qui est compris entre cinq et sept, de l'organisation des hauteurs des notes qui se fait par niveaux discrets. Ces invariants et d'autres existent dans toutes les musiques du monde. En revanche, le nombre de notes peut changer et la façon dont elles sont accordées dépend de la culture. Nous prenons en exemple la gamme de *do* majeur de la musique occidentale tonale et celle nommée *rast* de la musique orientale pour présenter ces régularités musicales (sachant que certaines musiques ne s'écrivent pas sur des portées et, par conséquent, sont plus difficiles à présenter).



Une gamme occidentale
Cette gamme de *do* majeur possède sept notes par octave : *do ré mi fa sol la si*. La distance entre les notes, exprimée en quarts de tons par rapport à la première note, représente le patron 0-4-8-10-14-18-22-24.

21
18
14
10
7
4
Housaini
Nawa
Sikah
Ouj
Jiharkah
Doukah
Rast : tonique
Kirdan
Contour mélodique
Octave avec un nombre limité de notes
Durée des notes
Hauteur des notes

Une gamme orientale
Cette gamme *rast* possède aussi sept notes par octave : *rast doukah sikah jiharkah nawa housaini ouj*, la première note de l'octave suivante se nommant *kirdan*. La distance entre les notes, exprimée en quarts de tons par rapport à la première note, représente le patron 0-4-7-10-14-18-21-24.

Autres invariants

La fonction d'une note change selon le contexte ; ici le *do* est la tonique, la note la plus importante de la gamme, le *sol* la dominante et le *si* la note la moins importante de la gamme, la sensible. La note la plus importante de la gamme orientale est *rast*.

Le contour mélodique est le patron défini par les hauteurs des notes qui montent et qui descendent.

Le rythme est la durée des notes les unes par rapport aux autres.

La mesure est la pulsation de référence de la mélodie.

informations visuelles suivant leur similarité et leur proximité : ainsi, la suite XXXOO est perçue en deux groupes (XXX et OO) à cause de la similarité des lettres, et la suite XXX XX en deux groupes par proximité spatiale.

En analysant les structures mélodiques de différents systèmes musicaux, on a constaté que des lois similaires existent pour la perception auditive, puisque l'auditeur groupe les séquences de notes selon une similarité de timbre ou d'intensité et une proximité (temporelle ou de hauteur). En 2002, Glenn Schellenberg, de l'Université de Toronto, et ses collègues ont étudié l'influence de la proximité de hauteur dans la perception des mélodies. Ils ont présenté aux participants des débuts de mélodies dont la dernière note variait en hauteur (donc en proximité avec la note précédente) et les participants devaient juger si elle convenait bien pour terminer la séquence. Dans une autre étude, les participants chantaient la suite des mélodies et les chercheurs analysaient la distance de hauteur entre la dernière note entendue et la première note chantée.

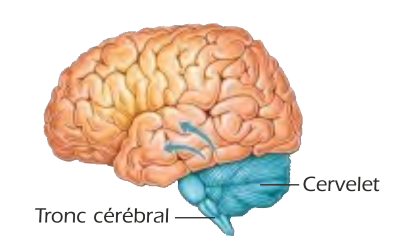
Les résultats montrent que les participants préfèrent produire ou entendre des notes proches en hauteur de la dernière entendue. Et ce, quels que soient leur âge (enfants ou adultes), leur expertise musicale (musiciens ou non-musiciens), leur origine culturelle (par exemple, Américains ou Chinois) et le style musical des mélodies (des chansons folkloriques britanniques, des chansons chinoises ou des musiques contemporaines). Plusieurs études suggèrent donc que les invariants musicaux présents dans les différentes cultures reflètent les mêmes contraintes perceptives et cognitives. L'apprentissage des régularités qui existent dans les structures musicales est une autre façon d'étudier comment le cerveau traite la musique.

Des universaux musicaux aux universaux cognitifs

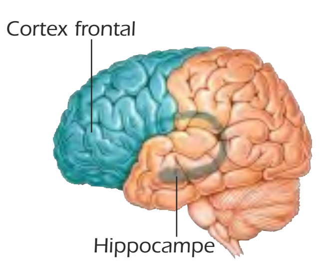
En psychologie cognitive, on a mis en évidence une capacité qui permet d'acquérir des connaissances sur des informations complexes par simple exposition, sans intention d'apprendre. Ce type d'apprentissage est qualifié d'implicite : étant exposé à des matériaux structurés, le cerveau extrait des régularités et devient sensible aux structures sans connaissances explicites. C'est ainsi que l'enfant acquiert des connaissances sur sa langue maternelle en étant exposé aux flots de paroles de son environnement. L'enfant (avant sa scolarisation et les cours de grammaire) ne peut pas expliquer des structures, des régularités ou des règles de la langue, mais il les comprend et peut deviner la fin d'une phrase, détecter des fautes de grammaire ou des irrégularités de structures.

De même, la capacité cognitive d'apprentissage implicite permet aux auditeurs d'acquérir des connaissances sur le système musical de leur culture, notamment dans la vie quotidienne, par simple exposition à des pièces musicales (les berceuses, la musique à la radio, etc.). Et ce, sans formation musicale explicite. L'auditeur est face à la musique comme l'enfant est face à sa langue maternelle : il traite les structures et développe des attentes, sans être capable de les expliciter. On parle d'acculturation musicale : l'auditeur

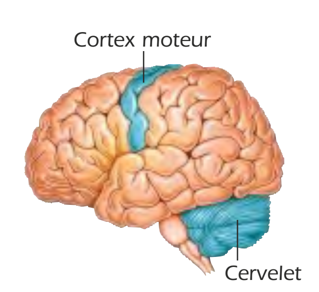
Le traitement de la musique par le cerveau



1. Écouter des sons active notamment le noyau cochléaire, le tronc cérébral et le cervelet. Puis l'information se déplace vers le cortex temporal où se trouvent les aires auditives primaires et secondaires.



2. Écouter une musique familière active entre autres des régions impliquée dans la mémoire. Ce sont par exemple l'hippocampe et des aires du cortex frontal.



3. Battre la mesure avec le pied nécessite une synchronisation temporelle et implique le cervelet et les cortex moteur et frontal.

est un expert implicite de la perception de la musique de sa culture.

La plupart des travaux sur la cognition musicale se sont intéressés à la perception de la musique occidentale tonale par l'auditeur occidental et à ses principales régularités qui s'appliquent à une variété de styles musicaux (musique classique, pop, folk, jazz, etc.).

On sait qu'une même note peut remplir différentes fonctions musicales selon son contexte d'utilisation. Par conséquent, une note peut être adéquate pour finir une mélodie donnée, mais pas pour en terminer une autre. Pendant l'écoute, un auditeur acculturé développe donc des attentes perceptives sur les notes futures qui diffèrent selon le début de la mélodie.

Ces attentes musicales sont semblables aux attentes face au langage : un même mot, *neige* par exemple, est plus attendu après *Le skieur glisse sur la* qu'après *Le chauffeur conduit sur la*. Les connaissances sur la langue française, les relations sémantiques entre les mots et leur fréquence d'association permettent de développer des attentes sur la suite d'une phrase ; et ces attentes sont plus fortes pour un mot plus probable. Ainsi, plus un événement est attendu, plus on le traite rapidement que la tâche concerne des mots ou des mélodies.

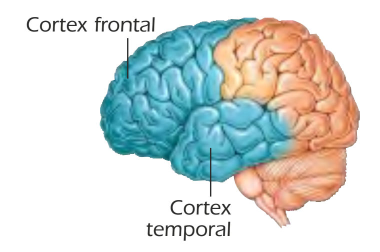
Cette expérience étudiant les connaissances de l'auditeur sur le langage a été transposée à l'étude des connaissances de la musique. On a proposé à des participants deux mélodies qui ne différaient que par une seule note *(voir la figure 2)*. Musicalement, ce changement d'un demi-ton – une note proche en hauteur – laisse inchangé le contour mélodique, mais modifie la tonalité installée, de sorte que la dernière note de la mélodie est adéquate en note finale pour la première mélodie, mais ne l'est pas pour la seconde ; cette dernière note prend la fonction de la tonique (la note la plus importante de la tonalité) dans la première mélodie, mais la fonction d'une sous-dominante (une fonction moins importante) dans la seconde.

Des connaissances implicites

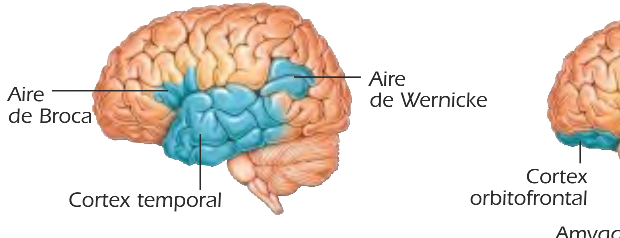
Un auditeur non musicien, sans formation musicale explicite, fait-il cette différence, même si acoustiquement les deux mélodies sont presque identiques ? Oui. Il traite plus rapidement la dernière note de la première mélodie. Comme il s'agit de la même information acoustique, cela suggère que l'auditeur a des connaissances sur le système musical et l'utilisation des notes, ce qui lui permet de distinguer les deux mélodies ; en d'autres termes, les débuts des mélodies – qui diffèrent par une note – activent différemment les connaissances musicales et engendrent des attentes perceptives différentes qui influent sur la perception de la dernière note. Voilà une démonstration de l'acculturation tonale des auditeurs occidentaux *via* une exposition à la musique occidentale tonale.

Quelques études avec des musiques et des auditeurs d'autres cultures permettent de soutenir que l'acculturation par simple exposition est un invariant cognitif. Par exemple, en comparant la perception de la musique indienne par des auditeurs indiens – c'est-à-dire acculturés – et par des auditeurs américains – dits naïfs, c'est-à-dire n'ayant pas été exposés à ce type de

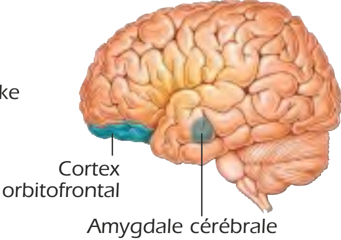
Plusieurs régions cérébrales participent à la musique. Le son est d'abord traité par les structures de l'oreille et les aires sous-corticales et corticales du système auditif. Puis interviennent différentes parties du cerveau, impliquées dans la mémoire, les émotions, les mouvements ou d'autres modalités sensorielles. Certaines sont communes à la musique et au langage et d'autres seraient spécifiques à la musique. Quelques-unes de ces régions ont été figurées, mais cette liste n'est pas exhaustive.



4. Inventer une musique, par exemple en chantant, met en jeu certaines régions situées dans les cortex frontal et temporal.



5. Écouter une musique et traiter ses structures impliquent des régions qui participent aussi au langage, telles les aires de Broca et de Wernicke, ainsi que d'autres régions du cortex temporal.



6. Les émotions ressenties à l'écoute musicale activent les structures participant aux émotions, tels l'amygdale cérébrale et le cortex orbitofrontal.

a



b



Jean-Michel Thiriet

2. Ces deux mélodies se différencient par une seule note : la troisième. Musicalement, ce changement d'un demi-ton ne modifie pas le contour mélodique, mais change la tonalité, de sorte que la dernière note est adéquate comme note finale pour la mélodie *a* alors qu'elle ne l'est pas pour la mélodie *b*. Quand on demande au sujet un jugement rapide sur la note finale, il appuie plus vite sur le bouton de réponse pour la mélodie *a* que pour la mélodie *b*. Les connaissances musicales – même non conscientes – de l'auditeur influent sur sa perception de la dernière note d'une mélodie.

musique –, on constate que les deux groupes sont sensibles aux caractéristiques acoustiques des notes entendues (leur durée et leur fréquence d'apparition), mais seuls les auditeurs indiens perçoivent les différences d'organisation fonctionnelle des notes (il existe divers sous-ensembles de notes utilisés dans les gammes).

Apprendre en écoutant

On a obtenu des résultats similaires pour la perception de la musique arabe improvisée : les auditeurs européens (naïfs) et arabes (acculturés) sont sensibles à certains indices acoustiques, tels des pauses (aucun son n'est émis) ou des changements de registres (on passe de notes graves à des notes aiguës), mais seuls les auditeurs arabes perçoivent des changements subtils de modes (des modifications de gamme par exemple).

Un autre exemple porte sur la perception des structures temporelles. Plusieurs études avaient montré que les auditeurs occidentaux préfèrent les rythmes avec des mesures simples (par exemple, à deux ou trois temps). On pensait alors que les mesures plus complexes nécessitaient davantage de ressources cognitives.

En 2005, Erin Hannon et Sandra Trehub, de l'Université de Toronto, bousculent cette interprétation en suggérant l'importance de l'acculturation musicale, même pour les structures temporelles. Ils montrent que les auditeurs américains perçoivent facilement les mesures simples pour lesquelles ils sont acculturés, mais qu'ils rencontrent des difficultés pour des mesures complexes. En revanche, des auditeurs bulgares et macédoniens sont sensibles aux deux types de mesures : ils sont acculturés pour les deux, car la musique folklorique des Balkans contient des mesures complexes.

De plus, E. Hannon et S. Trehub ont montré que des bébés américains de six mois sont sensibles aux deux types de mesures ; cependant, dès l'âge de 12 mois, l'acculturation s'est mise en place et les bébés américains obtiennent les mêmes résultats que les adultes américains. Les bébés pourraient donc apprendre différentes structures musicales (ici temporelles), mais après une période restreinte, ils se spécialiseraient aux caractéristiques musicales de leur culture. Notons que cette période nécessaire à l'acculturation musicale correspond à celle qui permet à un bébé de se spécialiser pour la perception des sons de sa langue maternelle.

Il existe donc des invariants cognitifs liés à la perception de la musique : les auditeurs apprennent des informations sur le système musical de leur culture par simple exposition – ils reconnaissent les notes utilisées, leur combinaison en gammes, leurs organisations –, et ces connaissances musicales implicites influent sur le traitement des structures musicales, par exemple par la formation d'attentes perceptives. Alors quelles sont les aires cérébrales dédiées au traitement des structures musicales ? Existe-t-il des régions cérébrales et des capacités cognitives spécifiques à la musique ?

De nombreuses études sur les fondements biologiques de la musique ont montré un recouvrement des réseaux neuronaux impliqués dans le traitement de la musique et du langage *(voir l'encadré pages 14 et 15)*. Par exemple, certaines études ont appliqué à la musique des méthodes expérimentales utilisées pour le langage, notamment en introduisant un événement inattendu dans une séquence musicale et en comparant la réaction du cerveau à cette violation de structure avec sa réaction face à un événement qui respecte les structures musicales. Ainsi, par électroencéphalographie – une technique qui mesure l'activité électrique des neurones sur le scalp et qui a une très bonne résolution temporelle –, on a montré que le cerveau réagit rapidement après une violation musicale (en 200 millisecondes après le début

Des invariants cognitifs

- Une préférence pour des notes proches en hauteur dans une mélodie.
- Un traitement des sons par catégorie.
- Une mémoire à court terme de cinq à neuf éléments.
- L'information relative (le contour mélodique et le rythme) est privilégiée.
- On associe la musique à d'autres comportements (la danse par exemple).
- L'exposition à la musique et son apprentissage implicite, sans intention d'apprendre, engendrent des connaissances et des attentes musicales.

du son). Cette réaction est semblable à celle observée après la violation d'une structure syntaxique dans des phrases.

En outre, en imagerie cérébrale fonctionnelle par résonance magnétique – une méthode de mesure de l'activité des neurones dans des régions cérébrales précises –, on a mis en évidence l'importance du cortex frontal inférieur (qui comprend l'aire de Broca et son homologue dans l'hémisphère droit) dans la musique. L'aire de Broca n'est donc pas spécialisée dans le traitement du langage : sa fonction est plus générale. Elle serait impliquée dans les mécanismes nécessaires à l'intégration structurale des informations, notamment au cours du temps – qu'il s'agisse des notes d'une mélodie ou des mots d'une phrase.

D'autres universaux

En comparant différentes cultures musicales, on a trouvé des universaux en musique, telle l'utilisation d'un nombre limité de notes ou la façon dont elles sont organisées. Ces caractéristiques nous informent sur des contraintes perceptives et cognitives plus générales qui ont conduit à la construction de ces systèmes musicaux. En étudiant l'auditeur exposé à la musique de sa culture, on a ainsi constaté que les traitements cognitifs impliqués dans l'acculturation et la perception musicales sont communs au traitement d'autres structures, tel le langage.

Mais il existe d'autres universaux en musique : la présence des berceuses, l'émergence des émotions et l'association entre musique et mouvement (notamment dans la danse). Par exemple, il est possible de reconnaître une berceuse d'une autre culture (sans connaître les mots) ou certaines émotions dans des pièces musicales d'une autre culture. Ces invariants seraient communs au langage et à la voix. Les berceuses, à savoir la musique destinée aux bébés, mettent en œuvre des caractéristiques acoustiques comparables à celles utilisées quand on parle à un bébé : par exemple, un contour mélodique simple, l'utilisation de répétitions, une variété limitée de hauteurs. De même, les émotions suscitées par la musique ont des caractéristiques retrouvées dans la voix : par exemple, l'expression de la joie est souvent associée à un tempo rapide et à une large variété de hauteurs. Toutefois, certaines émotions, évoquées par les structures spécifiques d'un système musical, renvoient à l'invariant cognitif de l'acculturation musicale. ■

Bibliographie

F. Marmel et al., *Tonal expectations influence pitch perception*, in *Perception & Psychophysics*, vol. 70, pp. 841-852, 2008.

A. Patel, *Music, Language and the Brain*, Oxford University Press, 2008.

E. Hannon et S. Trehub, *Metrical categories in infancy and adulthood*, in *Psychological Science*, vol. 16, pp. 48-55, 2005.

S. Trehub, *The developmental origins of musicality*, in *Nature Neuroscience*, vol. 6, pp. 669-673, 2003.

Vous avez l'oreille musicale !

Emmanuel Bigand, professeur de psychologie cognitive, membre de l'Institut universitaire de France, dirige le Laboratoire d'étude de l'apprentissage et du développement, UMR 5022, à l'Université de Bourgogne, à Dijon.

Divers tests révèlent que les non-musiciens reconnaissent un accord inapproprié, une mélodie inachevée ou des variations sur un thème aussi bien qu'un musicien professionnel. La musique s'installerait dans le cerveau sans que nous en ayons conscience.

En Bref

- Les non-musiciens ont un sens de la musique aussi aiguisé que les musiciens.
- L'écoute seule rend le cerveau musicien. Ni la pratique ni l'étude ne sont indispensables.
- Les non-musiciens sont des experts sans le savoir : ils reconnaissent aussi bien que les experts les anomalies introduites dans une mélodie.

L'importance que revêtent les activités musicales dans les civilisations humaines témoigne d'un paradoxe : la musique est une structure sonore complexe qui n'a pas de fonction biologique précise et dont les éléments de base ne se réfèrent à aucun objet ou événement réel. Pourtant, elle a des effets considérables sur l'être humain. Que l'on songe au pouvoir expressif de la musique qui permet tout à la fois de calmer les bébés et de donner du courage aux soldats qui partent sur les champs de bataille. Les études d'imagerie cérébrale ont montré que certaines zones cérébrales sont activées aussi bien par la musique que par les stimulations biologiques fortes, par exemple la prise de nourriture ou de drogue, ou encore les relations sexuelles. La musique peut également réduire l'activation des zones cérébrales impliquées dans les émotions négatives.

Comment un stimulus artificiel qui n'a de rôle biologique direct, ni pour la survie, ni pour l'adaptation, ni pour la nutrition ni pour la reproduction de l'espèce peut-il avoir un tel effet sur notre cerveau ? Il semble difficile de rendre compte du rôle joué par la musique dans les sociétés humaines sans envisager que d'importants réseaux neuronaux ne lui soient alloués.

Certains neurobiologistes abordent cette question par le biais de l'étude anatomique du cerveau des musiciens, c'est-à-dire de sujets ayant suivi une formation professionnelle de musique, et du cerveau de non-musiciens, sans formation musicale spécifique. Certes, ces études font apparaître des différences anatomiques, mais nous devons éviter le piège consistant à réduire les différences d'aptitudes musicales à de simples différences anatomiques.

Le sens de la musique

Après avoir évoqué ces différences anatomiques, qui illustrent surtout la plasticité du cerveau, nous évoquerons quelques tests montrant que les non-musiciens ont un sens de la musique aussi vif que les musiciens. À la différence près, bien sûr, que les musiciens savent décrire ce qu'ils entendent et produire de la musique. Ainsi, la perception de la musique s'acquerrait non par l'étude ou la pratique, mais par la simple écoute répétée de la musique.

Quels sont les réseaux qui sous-tendent les capacités musicales et comment se forment-ils ? Certaines hypothèses invoquent une prédisposition génétique qui spécialiserait les circuits neuronaux dans le traitement des sons et des structures musicales. Selon d'autres hypothèses, les circuits neuronaux du traitement de la musique emprunteraient des voies neuronales parti-

cipant au traitement du langage, notamment. Enfin, on peut envisager que ces réseaux se développent sous l'effet d'un apprentissage intensif de la musique.

Plusieurs équipes étudient par imagerie cérébrale les conséquences de l'apprentissage intensif de la musique en comparant les caractéristiques anatomiques et fonctionnelles du cerveau de musiciens et de non-musiciens. L'apprentissage intensif d'un instrument de musique réorganiserait plusieurs aires cérébrales (les aires motrices, le corps calleux et le cervelet), mais également les zones cérébrales directement impliquées dans la perception musicale. On observerait également des activations plus fortes dans l'hémisphère gauche (celui du langage) des musiciens. Enfin, ces différences semblent d'autant plus marquées que les sujets ont commencé la musique tôt dans l'enfance.

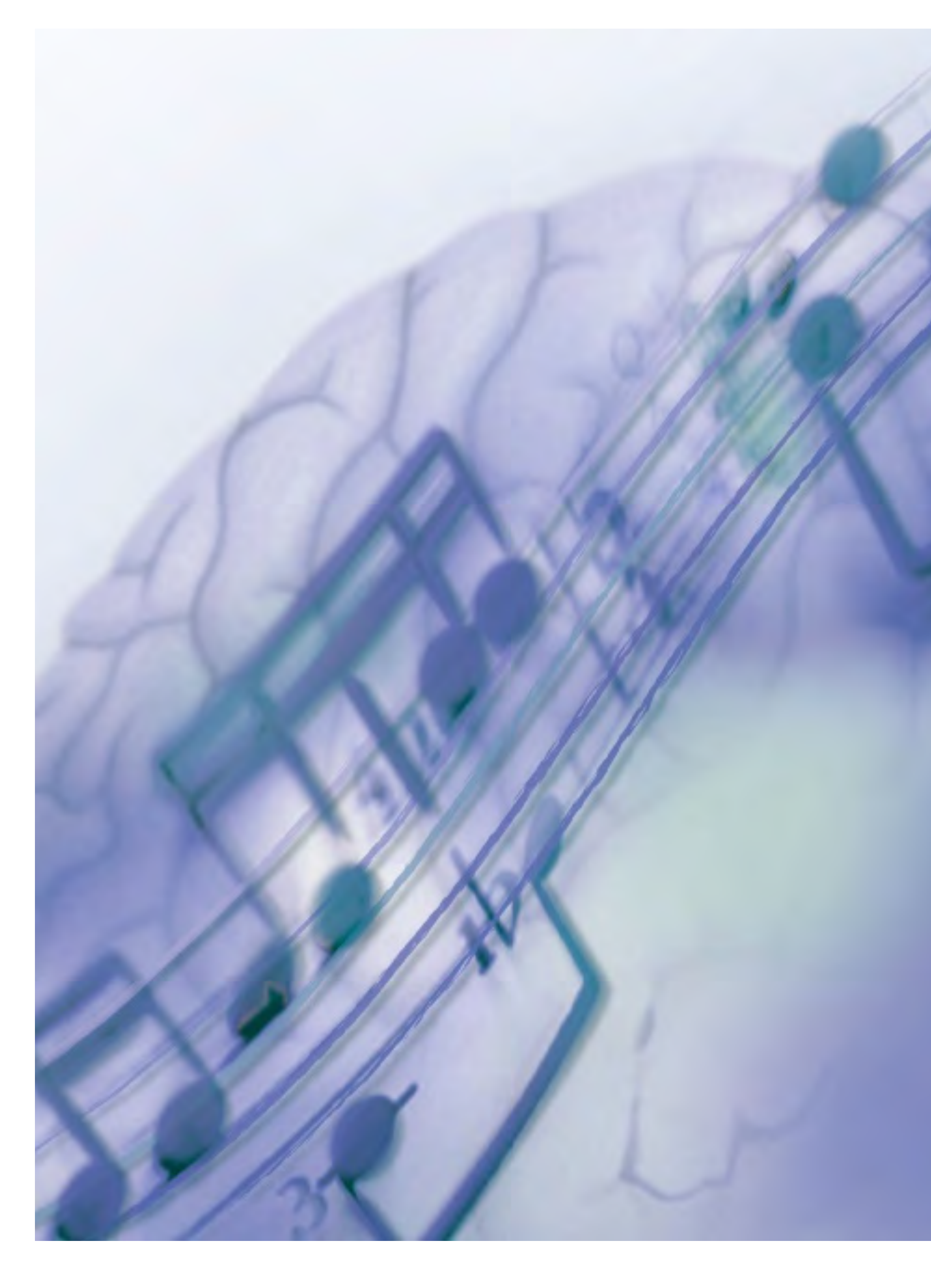
Ces travaux éclairent notre compréhension de la plasticité cérébrale, puisqu'ils démontrent que le cerveau se réorganise à la suite d'un apprentissage intensif *(voir l'article de Daniele Schön)*. Toutefois, nous devons éviter de vouloir à tout prix relier des différences anatomiques à des différences d'aptitude musicale, au risque d'occulter l'essentiel de ce que la musique peut révéler sur le fonctionnement du cerveau humain.

Soulignons que l'existence de différences anatomiques et fonctionnelles reste difficile à interpréter tant que ces différences ne sont pas associées à des comportements pertinents pour les activités musicales. De surcroît, la perception de la musique ne se réduit pas à identifier quelques timbres instrumentaux et à apprécier de petites variations de hauteur d'un son. Elle implique des traitements cognitifs d'une tout autre complexité si l'on veut suivre le développement thématique d'une sonate ou percevoir les liens entre un thème et ses variations. Ces traitements nécessitent des opérations cognitives abstraites qui mettent en œuvre des capacités d'attention et de mémoire, et des opérations de catégorisation et de raisonnement. Ainsi, il est tout à fait possible qu'une pratique instrumentale intensive entraîne des réorganisations cérébrales qui distinguent le cerveau de musiciens et de celui de non-musiciens sur le plan moteur, sans pour autant que les processus de perception, de compréhension et d'appréciation diffèrent entre les deux groupes.

Partant de la constatation qu'il existe beaucoup plus de similarités entre le cerveau de musicien et de non-musiciens qu'il n'existe de différences, nous avons postulé que les réseaux neuronaux mis en jeu dans les activités musicales se développent même en l'absence d'un apprentissage intensif de la musique. Autrement dit, l'écoute seule (et non la pratique) suffit à rendre le cerveau musicien.

L'écoute seule rend le cerveau musicien

L'idée qu'un cerveau non musicien puisse être expert dans le traitement des structures musicales surprend. Il s'agit pourtant d'une conclusion qui est étayée par les nombreuses études faites sur l'apprentissage implicite, c'est-à-dire dont nous n'avons pas conscience (contrairement à un apprentissage explicite, conscient). Ces travaux ont confirmé l'extraordinaire capacité de notre cerveau à intérioriser les structures complexes de l'environnement, même quand nous



Les fondamentaux

La musique occidentale tonale repose sur un alphabet de 12 notes organisé en 24 accords et en 24 tonalités principales. Un accord correspond à l'exécution de trois notes simultanées (*do-mi-sol*, pour l'accord de *do* majeur, par exemple). Une tonalité correspond à un sous-ensemble de sept notes (*do, ré, mi, fa, sol, la, si*, pour la gamme de *do* majeur). Il existe des organisations hiérarchiques à l'intérieur de ces tonalités entre les accords et entre les notes. Certaines notes et certains accords attirent plus l'attention que d'autres : ils fonctionnent comme des « points d'ancrage » pour la perception. L'accord de « tonique » (construit sur la première note de la tonalité) est l'accord le plus attractif. Il l'est plus que l'accord de sous-dominante (qui est construit sur la quatrième note de la gamme). Ainsi, dans la tonalité de *do* majeur, l'accord de *do* majeur est un point d'ancrage plus important pour la perception que l'accord de *fa* majeur. Ces différences correspondent aux fonctions musicales des accords. Comprendre la musique occidentale nécessite de différencier ces fonctions musicales.

n'y sommes exposés que passivement. Ces apprentissages implicites inconscients sont fondamentaux pour l'adaptation et la survie de l'espèce. Ils s'observent dans tous les domaines et ont été acquis très tôt au cours de l'évolution.

On observe ainsi des apprentissages d'une grande complexité chez les nourrissons tant pour le langage parlé que pour la musique : quand on fait écouter à des bébés de quelques mois une petite mélodie, on observe qu'ils manifestent une forte réaction de surprise quand on change une note de cette mélodie par une autre qui enfreint les règles musicales. On détecte l'étonnement du bébé s'il se met, par exemple, à sucer sa tétine plus rapidement ou s'il tourne la tête du côté du haut-parleur. On en déduit que les circuits neuronaux impliqués dans les activités musicales s'organisent bien avant et indépendamment de tout apprentissage explicite de la musique.



Jean-Michel Thiriet

1. Pour tester les aptitudes musicales de musiciens et de non-musiciens, on leur fait écouter de la musique. On diffuse, par exemple, un extrait qui s'achève par un accord, dit cible. Cet accord est l'enjeu du test, mais l'auditeur l'ignore : on détourne son attention en lui demandant de décider si cet accord est joué avec un timbre de piano acoustique (il doit alors appuyer sur le bouton rouge, par exemple) ou sur un timbre de piano électronique (il doit alors appuyer sur le bouton vert). En fait, on modifie aussi les notes de cet accord et c'est ce que l'on teste. On constate que les temps de réponse à la question piano acoustique ou piano électronique sont plus longs lorsque les accords sont musicalement inadaptés à l'extrait. Le sujet (même non musicien) est déstabilisé par un accord qu'il n'avait pas prévu et répond plus lentement.

Musiciens et non-musiciens : des performances équivalentes

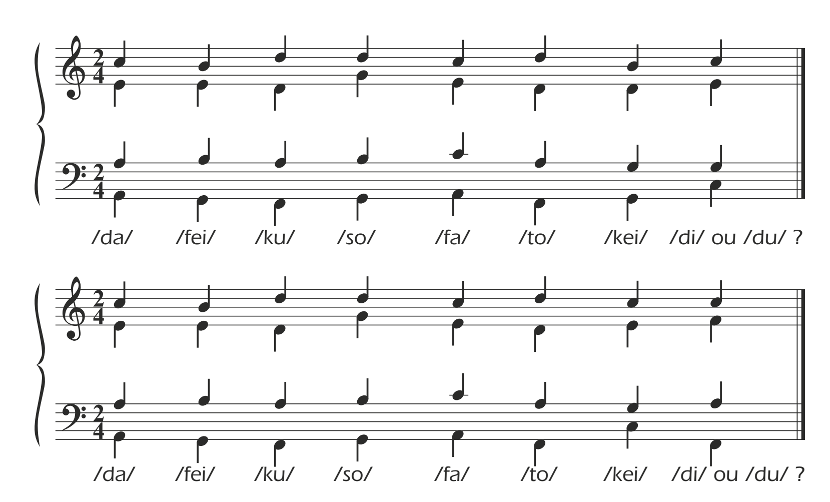
La question reste bien sûr de savoir si les aptitudes musicales qui se développent naturellement peuvent être aussi élaborées que celles des musiciens ayant suivi un long apprentissage de la musique. Lorsque l'on connaît la puissance des mécanismes d'apprentissage implicite, on anticipe une réponse positive à cette question. Pour le confirmer, nous avons comparé les compétences d'auditeurs musiciens, c'est-à-dire des étudiants en fin de cursus des conservatoires nationaux, et des non-musiciens (des étudiants du même âge sans formation musicale).

Nous avons testé différents aspects de la perception musicale : nous avons évalué si nos sujets perçoivent des relations entre un thème et des variations sur ce thème ; s'ils comprennent des substitutions harmoniques (on remplace un accord par un autre sans changer la musique) ; s'ils perçoivent qu'un extrait est le développement d'un thème ou non ; si des extraits musicaux suscitent les mêmes réactions émotionnelles (les sujets doivent dire s'ils jugent l'extrait triste, gai, enlevé, intense). Nous avons également étudié comment ils perçoivent des structures musicales contemporaines.

Pour comparer ces auditeurs experts à ces auditeurs sans formation musicale, nous avons pris soin d'écarter toute méthode qui repose sur l'utilisation de termes spécifiques de la technique musicale, ou sur des exercices d'écoute auxquels les musiciens ont été entraînés durant leurs études. Nous avons utilisé des méthodes de psychologie expérimentale qui évaluent les aptitudes musicales implicites des auditeurs.

L'une d'elles, est une méthode d'amorçage : nous expliquons aux auditeurs (musiciens et non musiciens) qu'ils vont entendre un extrait musical chanté sur des phonèmes (des syllabes) artificiels dépourvus de sens (pour que ce dernier n'influe pas sur la réponse). Nous leur demandons d'indiquer aussi rapidement que

possible si l'accord qui termine la séquence musicale était chanté sur le phonème /di/ ou sur le phonème /du/. Nous focalisons ainsi leur attention sur cette consigne, et nous étudions comment la réalisation de cette tâche sera perturbée par le type d'accord présenté en fin de séquence. La différence de fonction musicale entre ces deux accords est très ténue, et nous pensions initialement que seuls les musiciens experts seraient sensibles à cette différence.



2. Type de mélodie que l'on chante pour tester la perception implicite de la musique chez des non-musiciens. On chante avec des phonèmes artificiels (/da/, /fei/) et l'on demande de dire si le dernier phonème prononcé était /di/ ou /du/. Si l'accord final est inconsciemment anticipé *(en haut)*, le temps de réponse est très court, tandis que si l'accord final présente une caractéristique inattendue par rapport au début de la phrase musicale *(en bas)*, le temps de réponse est plus long, car le cerveau est confronté à un conflit entre ce qui était anticipé et le son produit.

Expert sans le savoir

Bien que la tâche expérimentale ne requière nullement de faire attention à la musique, nous avons montré que la rapidité d'identification du phonème dépend de la fonction musicale de l'accord : les temps d'identification des phonèmes /di/ et /du/ les plus courts sont observés pour les accords de tonique *(voir la figure 2)*. Autrement dit, bien que les auditeurs soient focalisés sur le phonème, ils réagissent très rapidement quand l'accord qui l'accompagne est l'accord tonique, le plus fréquent dans la musique occidentale classique. Au contraire, quand le phonème correspond à un accord qui n'a pas été anticipé inconsciemment, le sujet met plus de temps pour répondre à la question /di/ ou /du/. Puisque le sujet a été dérouté inconsciemment, c'est que le cerveau a anticipé un accord répondant aux règles musicales usuelles.

On fait le même type de test en demandant aux sujets de décider aussi rapidement que possible si un accord cible contient ou non une note dissonante, si les notes qui le constituent sont jouées exactement ensemble ou encore si l'accord cible est joué avec un timbre de piano électrique ou de piano acoustique. Nos différentes études ont montré que des auditeurs adultes occidentaux sont implicitement sensibles à de très fines différences de fonctions musicales. De plus, le traitement cognitif s'effectue extrêmement rapidement, et les réponses restent identiques même lorsque la musique est jouée à un tempo rapide. Les aptitudes musicales d'auditeurs sans formation musicale explicite se sont révélées surprenantes dans de très nombreuses autres études, quels que soient les aspects de la perception que nous avons abordés, et ceci même lorsque nous avons élaboré des situations expérimentales complexes conçues pour tromper leur oreille musicale.

Ainsi, dans un autre type d'étude, nous présentions des pièces musicales (des mélodies ou des séquences d'accords) que nous arrêtions au hasard ; les sujets devaient évaluer sur une échelle de 1 à 7 le degré d'achèvement de la mélodie au moment où elle était arrêtée. Cette méthode permet d'évaluer la finesse avec laquelle l'auditeur suit le déroulement d'un morceau dont on fait varier la complexité. Nous pensions trouver des différences marquées entre des auditeurs professionnels et novices. Or les résultats des deux groupes étaient aussi bons y compris lorsque les pièces musicales testées étaient complexes (tel le *Prélude en mi majeur* de Chopin).

Nos résultats sont en accord avec les conclusions de plusieurs études neurophysiologiques, où l'enregistrement des potentiels évoqués (on mesure des courants électriques à la surface du crâne des patients) révèle la présence de « pics » anormaux quand on a fait entendre aux sujets, tant musiciens que non musiciens, des accords inappropriés dans le contexte musical. Les études d'imagerie cérébrale suggèrent également que l'aire de Broca, connue pour son rôle dans le traitement du langage, est très active dans le traitement des structures syntaxiques musicales, y compris chez des auditeurs non musiciens. Cela montre que les musiciens ne sont pas les seuls à utiliser les aires du langage de l'hémisphère gauche pour traiter la musique.

Ainsi la simple écoute de la musique rend le cerveau musicien, et les aptitudes musicales surprenantes des non-musiciens démontrent la très grande plasticité du cerveau humain dans le domaine musical. Grâce à cette plasticité, chacun peut devenir un expert dans un domaine avec lequel il est familier, même s'il demeure incapable de verbaliser les structures musicales qu'il perçoit. ■

Bibliographie

B. Tillmann et al., *Implicit learning of tonality : A self-organizing approach*, in *Psychological Review*, vol. 107, p. 885, 2000.

T. Meulemans, *L'apprentissage implicite : une approche cognitive, développementale et neuropsychologique*, Éditions Solal, 1998.

E. Bigand, *Contributions de la musique à la psychologie cognitive de l'audition*, in *Penser les sons* sous la direction de McAdams & Bigand, PUF, 1994.

Les émotions musicales

Emmanuel Bigand, professeur de psychologie cognitive, membre de l'Institut universitaire de France, dirige le Laboratoire d'étude de l'apprentissage et du développement, UMR 5022, à l'Université de Bourgogne, à Dijon.

Les émotions musicales sont reconnues instantanément, aussi vite qu'un signal de danger. Ainsi, la musique a une valeur adaptative : elle favorise notamment la cohésion sociale.

En Bref

- La musique déclenche un état psychologique et un physiologique que n'entraînent pas les sons non musicaux.
- On reconnaît qu'une musique est triste ou gaie aussi vite que l'on identifie un danger.
- Toutes les émotions musicales sont constituées à des degrés divers des quatre émotions fondamentales : la colère, la sérénité, le désespoir et la gaieté.

La musique est la langue des émotions.
Emmanuel Kant

Qui n'a ressenti des frissons en écoutant le *Requiem* de Mozart ou *La jeune fille et la mort* de Schubert ? La musique exerce un effet profond sur l'être humain bien au-delà des sphères restreintes des mélomanes cultivés. Si l'on en croit de récentes statistiques économiques, la musique représenterait l'un des marchés les plus développés, bien avant l'industrie pharmaceutique. Les pratiques musicales ont une importance notable tant dans les sociétés industrialisées que dans les sociétés non occidentales. Ainsi, dans certaines cultures traditionnelles, on consacre plus de temps aux activités musicales qu'à celles dont dépend la tribu, la chasse notamment. Pourquoi la musique a-t-elle un tel impact ? C'est aujourd'hui l'objet d'études scientifiques novatrices en neurosciences et en psychologie cognitive.

Les processus cognitifs impliqués dans la perception musicale (comment le cerveau traite-t-il les informations musicales ?) sont étudiés depuis longtemps, alors que les réponses affectives à la musique (comment la musique déclenche-t-elle des émotions ?) ont été négligées jusqu'à présent. Pourtant, si nous écoutons de la musique, ce n'est pas pour le plaisir d'entendre des structures sonores bien construites, que notre cerveau redéploierait lors de l'écoute, même si cette conception très formaliste correspond sans doute à une réalité pour certains mélomanes érudits. Pour beaucoup de compositeurs et pour la plupart des auditeurs, le propre de la musique est d'être expressive. La musique renvoie à autre chose qu'aux sons et aux architectures sonores qui la composent : elle nous plonge dans un état psychologique et physiologique spécifique, qui ne se confond pas avec l'excitation sensorielle produite par les signaux acoustiques et qui se différencie clairement de l'état psychologique déclenché par les autres stimulations sonores de l'environnement.

Un analyseur sujet aux émotions

L'étude de la perception de la musique auprès des enfants malentendants en est une démonstration. Lorsque le signal acoustique, tout appauvri qu'il soit par la surdité, est perçu comme une production musicale, l'émotion devient manifeste dans le regard de celui qui l'écoute. Ce n'est d'ailleurs pas un hasard si le second souhait le plus fréquemment exprimé par les personnes atteintes d'une surdité profonde est de pouvoir retrouver la perception de la musique (qui vient juste après celui de mieux comprendre le langage). La musique ouvre sur un monde sensible où émotions, expressions et sentiments se côtoient.

Les sciences des activités mentales ont longtemps dominé les sciences de l'affectivité, y compris dans le domaine de la musique. À l'image d'un ordinateur qui traiterait froidement les informations du monde extérieur, l'auditeur est

le plus souvent présenté comme un « analyseur » de signaux acoustiques mettant en œuvre des méthodes précises. On ne songe pas à s'intéresser à ses réactions sensibles ni à l'influence de ces réactions sur sa façon d'écouter la musique.

Il est vrai qu'il est plus facile de trouver des indicateurs comportementaux et neurophysiologiques des traitements de l'information qu'effectue le cerveau que de trouver des paramètres associés aux réactions émotionnelles. Ainsi, on mesure des temps de réponse, on analyse des mouvements oculaires, on enregistre une activité cérébrale, mais on n'a pas identifié de paramètres fiables de mesure des réactions émotionnelles. Autrement dit, en quoi les paramètres « objectifs » nous renseignent-ils sur l'état émotionnel, sur le ressenti de l'auditeur ?

Ces difficultés n'ont pas empêché la psychologie des émotions de se développer dans de nombreux domaines, mais elles ont longtemps paru insurmontables dans le cas de la musique. Contrairement à certains sons qui peuvent évoquer un danger (un sifflement de serpent, un aboiement de chien, un bruit de pas dans la nuit, etc.), la musique n'a pas de conséquences immédiates : la survie d'un individu ne dépend pas de sa sensibilité à la musique. Nous écoutons de la musique pour le plaisir qu'elle nous procure, mais ce plaisir est libre de prendre des formes variées, lesquelles dépendent seulement du vécu de l'auditeur et de son état au moment où il écoute de la musique.

Aujourd'hui, le caractère universel des émotions musicales est au cœur de nombreuses recherches. Si l'émotion dépendait uniquement des contextes d'écoute, une œuvre donnée évoquerait autant d'expressions différentes qu'il y a d'auditeurs et chacun en aurait une expérience particulière. Lors d'un concert, son voisin de droite pleurerait, tandis que celui de gauche se délecterait joyeusement de la soirée. Or il est évident que cela ne se produit jamais. Les œuvres musicales ont une structure expressive suffisamment puissante pour imposer des états émotionnels communs à un grand nombre d'auditeurs. La musique peut mettre à l'unisson émotionnel une foule entière.

Ce pouvoir lui confère une force de cohésion sociale essentielle dans la plupart des cultures du monde. Il s'exerce déjà chez le nourrisson par l'intermédiaire des comptines qui lui sont chantées. Le bébé est d'ailleurs plus fasciné par la



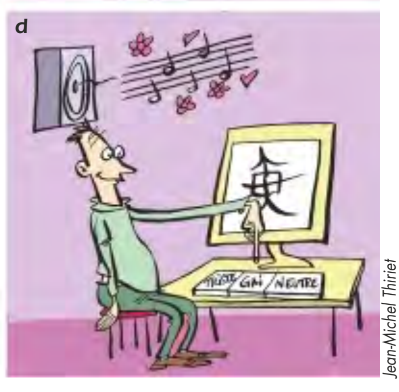
1. Debout, applaudissant à tout rompre, les participants à ce concert expriment ainsi leur gratitude aux concertistes pour les émotions qu'ils leur ont fait ressentir.

© Corbis









Jean-Michel Thiriet

2. L'influence de la musique est évaluée au moyen d'une expérience où l'on commence par faire entendre à un sujet une musique soit triste *(a)*, soit gaie *(c)*. On présente ensuite au sujet un idéogramme qui n'a pas de sens pour lui et dont on pourrait attendre qu'il le qualifie de neutre, n'évoquant pas d'émotion particulière. On demande au sujet d'appuyer sur une touche indiquant s'il trouve le caractère présenté sur l'écran Triste, Gai ou Neutre. Or après avoir entendu une musique triste, le sujet indique qu'il trouve l'idéogramme triste *(b)* et après une musique gaie, il le trouve gai *(d)*. La musique influe sur notre état d'esprit.

voix de sa mère quand elle chante que quand elle parle. Il existe manifestement des universaux expressifs puisque les comptines du monde entier partagent de nombreux traits structuraux.

La fonction de cohésion sociale s'exerce ensuite tout au long de la vie, et plus particulièrement au moment de l'adolescence. À ce stade, la musique traduit les états émotionnels traversés par les adolescents, ce qui facilite les regroupements par affinité. Même si elle est relativement stable chez une même personne, l'émotion que procure une œuvre diffère un peu d'un jour à l'autre, en fonction de l'humeur et du contexte, et elle évolue tout au long de la vie. Une telle variété est souhaitable, sinon l'expérience musicale deviendrait très vite répétitive.

Toutefois, ces variations restent centrées autour d'une même expérience émotionnelle. S'il n'en était ainsi, choisir un disque dans sa discothèque relèverait plus du jeu de hasard que d'un choix volontaire. Or il est rare que nous fassions de nombreux essais avant de trouver le morceau qui correspond à l'émotion recherchée. Lorsque nous connaissons bien une base de données musicales, nous savons très précisément quel type de musique s'ajuste le mieux à l'état psychologique du moment. Ce savoir n'est possible que dans la mesure où les émotions musicales obéissent à des régularités.

Les recherches ont confirmé la stabilité des réponses émotionnelles. Lorsque l'on utilise des œuvres connues et bien caractérisées du point de vue expressif qui évoquent des émotions de gaieté (le *Printemps* des *Quatre saisons* de Vivaldi), de colère ou de peur (*La Nuit sur le mont Chauve* de Moussorgski), de tristesse (*l'Adagio* d'Albinoni) et dans une moindre mesure de sérénité, les réponses sont très reproductibles d'un auditeur à l'autre.

Des réactions émotionnelles stables

Cette régularité est mise en évidence lors d'études où l'on demande à des auditeurs d'écouter des pièces qu'ils ne connaissent pas et d'exprimer leurs émotions. Dans l'une de ces expériences, nous avons demandé à des auditeurs musiciens et non musiciens d'écouter 27 extraits musicaux et de regrouper ceux qui exprimaient des émotions similaires. L'analyse de ces groupements permet de définir une distance émotionnelle entre les œuvres : si deux œuvres ne sont jamais regroupées, c'est qu'elles déclenchent des émotions très différentes, et que leur distance émotionnelle est importante.

Qui plus est, dans ce type d'expériences, les distances émotionnelles évaluées à partir des réponses sont quasi identiques lorsque les auditeurs refont l'expérience trois semaines plus tard. Plus surprenant encore, ces distances sont très similaires pour des groupes d'auditeurs différents et elles ne changent presque pas avec l'expertise musicale (que le sujet soit familier ou non de la musique). Suzanne Filipic et Philippe Lalitte, dans notre laboratoire, ont exposé des auditeurs n'ayant pas de formation musicale et des instrumentistes spécialistes de musique contemporaine à des œuvres de ce type. Ils ont comparé leurs réactions émotionnelles (tristesse, gaieté, anxiété, etc.). Malgré la difficulté stylique de ces œuvres, ils ont observé que les émotions sont similaires.

Les émotions perçues sont-elles réellement vécues ? Autrement dit, les auditeurs identifiant bien les émotions exprimées par les œuvres les ressentent-ils vraiment ? Les auditeurs pourraient identifier les mêmes émotions sans pour autant les ressentir de la même façon. Cette différence entre émotions « perçue » et émotion « vécue » reste un sujet de débat. Pour certains, on peut reconnaître le caractère triste d'une

musique que l'on écoute sans devenir triste ni même ressentir la moindre tristesse. De même, il est possible de voir des personnes tristes, tout en étant gai soi-même.

Émotions perçues, émotions vécues

Toutefois, de tels décalages – de telles dissociations – ont leurs limites, c'est-à-dire qu'ils sont normalement de courte durée, sauf dans des cas pathologiques ou dans un contexte expérimental. Antonio Damasio, à l'Université de Californie, à Los Angeles, a montré que les patients qui ne sont plus capables d'identifier les émotions à la suite d'une lésion cérébrale ne ressentent en général plus d'émotions non plus.

Par ailleurs, Paula Niedenthal et ses collègues de l'Université Blaise Pascal, à Clermont-Ferrand, ont empêché des sujets de ressentir l'émotion qu'ils devaient identifier en utilisant un artifice expérimental approprié : ils forçaient le sujet à rire (ils racontaient, par exemple, une histoire drôle) alors même qu'ils lui présentaient un visage triste et lui demandaient de préciser quelle émotion traduisait le visage. Ils ont ainsi montré que le sujet éprouve plus de difficultés à identifier l'émotion du visage lorsqu'il est perturbé. Dans un contexte naturel, l'émotion identifiée dans une œuvre ne reste pas longtemps dissociée de l'émotion ressentie : si l'écoute d'une musique triste pendant quelques minutes ne nous rend pas tristes, celle de musiques sinistres pendant une heure influe forcément sur notre état d'esprit.

On peut donc admettre que l'émotion identifiée est liée à l'émotion ressentie. Une expérience le met en évidence : on demande à des sujets d'évaluer le caractère émotionnel de stimulus non musicaux, qui n'évoquent pas d'émotions particulières (tels que des lettres chinoises sans signification pour un sujet occidental). On fait précéder la projection du stimulus par un extrait musical auquel le sujet n'est pas invité à prêter attention, mais qui est soit gai, soit triste. On demande ensuite au sujet de dire s'il trouve le dessin projeté (théoriquement neutre) gai, triste ou neutre. On constate que le caractère émotionnel attribué au stimulus neutre est influencé par l'émotion déclenchée par le morceau qui précède *(voir la figure 2)*. Un tel effet est qualifié d'amorçage affectif et suggère que la musique modifie l'état affectif du sujet, ce qui le conduit à projeter l'émotion musicale ressentie sur le stimulus neutre. Dans ce type d'études, l'émotion musicale influe sur le comportement du sujet sans qu'il n'ait à exprimer ce qu'il a ressenti.

L'analyse des réponses physiologiques à la musique constitue un moyen supplémentaire pour s'assurer que les émotions musicales sont bien « vécues ». Nos émotions sont suffisamment fortes pour entraîner de nombreuses modifications physiologiques, telles que le rythme cardiaque, le rythme respiratoire ou encore la conductance de la peau (une émotion fait transpirer, ce qui modifie la capacité que présente la peau de conduire un infime courant électrique). Le frisson dans le dos ou la chair de poule seraient une traduction physiologique spécifique (mais non exclusive) de l'émotion musicale.

L'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle, IRMf, confirme l'implication des réseaux neuronaux émotionnels quand on écoute de la musique. Ann Blood et Robert Zatorre, de l'Université McGill, à Montréal, au Canada, ont demandé à des auditeurs d'écouter dans un scanner les musiques qui leur procurent habituellement de fortes émotions. Ils ont constaté que la musique active les mêmes régions cérébrales que les stimulus ayant une forte implication biologique, tels que nourriture, stimulations sexuelles, voire certaines drogues.

Les résultats obtenus en imagerie cérébrale suggèrent que des liens anatomiques et fonctionnels se sont créés entre les systèmes cérébraux anciens (liés aux émotions) et les régions corticales (plus récentes et liées au raisonnement et autres processus cognitifs supérieurs). C'est ce qui nous permet de ressentir des émotions en présence de stimulus abstraits et culturels, notamment la musique. Les stimulations les plus



© Robbie Jack / Corbis

3. Les chanteurs d'opéra accentuent les émotions véhiculées par la musique en « jouant » la comédie. Costumes, mise en scène, expressions et jeux des comédiens permettent aux spectateurs de percevoir encore mieux si l'émotion associée à la musique est la gaieté, la tristesse ou l'inquiétude. Dans cette sène de *La flûte enchantée* de Mozart, la mystérieuse *Reine de la nuit.*

intenses sont provoquées par des musiques généralement qualifiées de tristes ou mélancoliques.

Eckart Altenmuller, de l'Institut de musique de Hanovre, a cherché à identifier la signature électrophysiologique des « frissons dans le dos ». En présentant des extraits du *Requiem* de Mozart à des auditeurs allongés dans un scanner, il a associé cette émotion à des passages précis de l'œuvre. L'analyse des indices électrophysiologiques montre que la musique ne provoque pas simplement des sentiments abstraits, mais qu'elle déclenche des changements de l'activité cérébrale. Certaines émotions semblent plus fréquemment associées à des modifications physiologiques spécifiques. Selon Carol Krumhansl, de l'Université Cornell, aux États-Unis, la gaieté entraînerait une accélération du rythme respiratoire et une respiration plus profonde, alors que la tristesse se manifesterait par des changements du rythme cardiaque, par une augmentation de la pression sanguine et une diminution de la conductance de la peau.

D'autres études d'imagerie cérébrale suggèrent que les deux hémisphères ne contribueraient pas de façon identique aux émotions musicales : l'hémisphère gauche semble plus actif lors de l'écoute de musique gaie, et l'hémisphère droit, lors de l'écoute de musique triste. Toutefois, même si l'imagerie cérébrale nous permet de localiser les aires impliquées dans l'émotion musicale, et la chorégraphie de leur activation, cela ne nous suffit pas pour comprendre comment naît une expérience émotionnelle et en quoi elle consiste. Dès lors, il faut avoir recours à la psychologie expérimentale.

Quatre grandes catégories d'émotions semblent prédominer en musique : la gaieté, la colère (ou la peur), la tristesse et la sérénité, qui seraient identifiées sans difficulté dès l'âge de cinq ans. La musique peut-elle déclencher des émotions plus subtiles ? En 2005, en collaboration avec l'équipe de Stephen McAdams de l'IRCAM, nous avons voulu tester diverses méthodes pour approfondir cette question. Une des méthodes, déjà évoquée, consiste à présenter sur un écran d'ordinateur un ensemble de 27 extraits musicaux, suffisamment longs pour installer un climat expressif précis, et suffisamment courts pour que ce climat reste stable tout au long de l'extrait.

L'espace des émotions

Ces extraits étaient choisis en collaboration avec le musicologue François Madurell, de l'Université Paris IV-Sorbonne, pour représenter une large variété de styles musicaux, de formations instrumentales et d'expressions. Le dispositif expérimental permettait aux sujets d'écouter ces extraits autant de fois qu'ils le voulaient ; ils devaient ensuite grouper par deux, trois ou davantage ceux qui, selon eux, évoquaient une même émotion. Une fois réalisée avec un nombre suffisant de sujets, l'expérience fournissait une matrice de co-occurrence, qui indiquait combien de fois tel ou tel morceau avait déclenché la même émotion. C'est une matrice dite de proximité émotionnelle des extraits.

Cette démarche est facile à réaliser, plaisante pour les sujets, et n'exige pas de formuler ses émotions. Elle permet d'identifier les dimensions psychologiques qui organisent les distances émotionnelles entre les différents extraits. On isole ainsi les dimensions psychologiques qui structurent l'espace de nos émotions musicales. Trois dimensions principales ont été observées : l'axe de l'énergie des émotions ressenties, l'axe de valence émotionnelle et l'axe de la dynamique.

L'axe de l'énergie des émotions ressenties va des émotions de grande énergie, intenses (gaieté, colère) à des émotions de faible énergie, reposantes (dépression, sérénité). Le second axe oppose des émotions positives (gaieté ou sérénité) aux émotions négatives (colère ou désespoir). Cet axe ne retrace pas le caractère agréable – l'agréabilité –, généralement rapporté dans les études sur les émotions. En effet, l'une des spécificités de la musique est de pouvoir être jugée plaisante même si l'émotion induite est triste, c'est-à-dire même si elle a une valence

Colère
Peur
Gaieté
Énergie des émotions
Tristesse
Émotion corporelle
Sérénité
Valence émotionnelle

4. Des extraits musicaux sont diffusés à des sujets qui doivent dire s'ils les trouvent gais, tristes, sereins ou inquiétants. L'analyse des résultats montre qu'on peut les décomposer selon trois paramètres : la valence émotionnelle, l'émotion corporelle (ou corporalité) et l'énergie. On constate que les extraits sont regroupés en quatre zones que l'on associe à la tristesse (valence négative, corporalité faible et énergie faible), la sérénité (valence positive, corporalité faible et énergie faible), la gaieté (valence positive, corporalité élevée et énergie élevée) et la colère ou la peur (valence négative, corporalité élevée et énergie élevée).

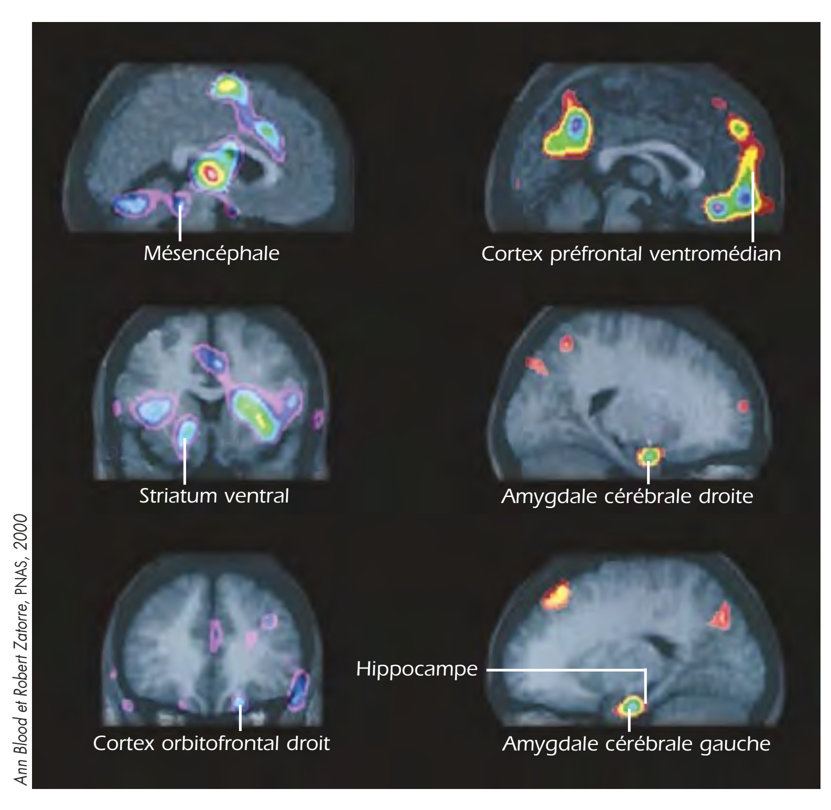
négative. Enfin, nous avons pu dégager un dernier axe qui est lié au mouvement corporel induit par la musique, l'axe de l'émotion corporelle ou corporalité.

Comme l'avait noté le psychologue Robert Francès dès 1956, la musique réveille des schémas sensorimoteurs qui renforcent l'expérience affective du sujet : il y a une interaction entre les schémas purement cognitifs, l'affect et le corps. L'émotion ressentie par l'auditeur active des schémas moteurs – des mouvements – mémorisés qui, en retour, agissent sur la perception de la musique écoutée. Autrement dit, cette troisième dimension indique que nos émotions musicales ne sont pas purement intellectuelles : elles puisent dans l'ensemble des affects liés aux expériences corporelles que le sujet a déjà vécues.

Les œuvres que nous écoutons engendrent des émotions qui prennent des positions spécifiques sur ces dimensions d'énergie, de valence et de corporalité, en fonction de leurs caractéristiques structurelles. Ces dimensions étant continues, il y a une infinité de façons de combiner ces valeurs, laissant ainsi place à un nombre quasi infini d'émotions subtilement différentes. Cette approche rend mieux compte de la complexité et de la richesse des émotions en musique qu'une approche sous forme de catégories.

Les quatre grands types d'émotions (gaieté, désespoir, sérénité, colère) existent bien, mais ils ne représentent qu'un tout petit aspect de nos émotions. Les pièces musicales « gaies » déclenchent des émotions de grande dynamique et de forte positivité qui sont localisées en haut et à droite de cet espace *(voir la figure 4)*. Selon que ces pièces ont ou non un caractère dansant (émotion corporelle plus ou moins élevée), elles ont une place différente sur le troisième axe. Les pièces colériques suscitent des émotions de forte énergie, mais de valence négative. De même, les pièces tristes ou dépressives se situent dans la région de l'espace émotionnel où la dynamique est faible et la valence négative. Les pièces sereines, telles que les comptines pour enfants, engendrent des émotions de faible dynamique et de valence positive. Cette représentation laisse transparaître la richesse possible des émotions induites par la musique.

Toutefois, le problème reste entier : comment déterminer ce qui, dans les œuvres, module l'intensité de nos émotions sur chacun de ces axes ? Cette question est à l'intersection de la musicologie, de la psychologie et des neurosciences cognitives. La psychologie isole les traits musicaux porteurs d'expression, les neurosciences cognitives observent comment ces traits affectent l'auditeur.



5. L'imagerie cérébrale révèle les aires activées par différents types de musiques. Ici, le sujet écoutait une musique très plaisante. On a constaté que dans certaines aires – le mésencéphale, le striatum et le cortex orbitofrontal droit –, le débit sanguin augmentait, tandis qu'il décroissait dans le cortex préfrontal ventromédian, l'amygdale cérébrale et l'hippocampe.

Au moyen de méthodes directes (on demande au sujet d'indiquer quel passage dans un extrait musical lui semble le plus expressif par exemple), ou indirectes (on mesure les modifications physiologiques de l'auditeur qui écoute un trait spécifique), on a constaté qu'une modulation, c'est-à-dire le passage d'un ton à un autre (de la gamme de *do* à la gamme de *sol*) ou d'un mode à un autre (majeur à mineur) et surtout la vitesse à laquelle cette modulation est réalisée provoquent des réponses émotionnelles.

Une partition dans le cerveau

C'est ce qui a été vérifié lors d'une étude conduite à l'Hôpital La Timone, à Marseille, en collaboration avec Catherine Liegeois-Chauvel, Stéphanie Khalfa, Michel Paindavoine et Charles Delbé. Nous avons enregistré en temps réel, dans différentes aires cérébrales (dont le cortex auditif et l'amygdale cérébrale), les réponses émotionnelles d'auditeurs à différents types de musiques très contrastées. Nous avons constaté que, chez certains d'entre eux, la puissance du signal électrophysiologique change en synchronie avec les structures musicales qu'ils écoutent. Par exemple, dans le cas d'une fugue, chaque entrée de voix entraîne une modification de la puissance du signal enregistré dans la quasi-totalité des structures cérébrales. Les changements sont parfaitement synchronisés avec la structure musicale. Pour certains de ces

auditeurs (qui n'étaient pas des musiciens), le signal électrophysiologique prenait des allures de partition musicale !

Sérénité, douceur, colère...

D'autres changements ont des effets sur les émotions et ce quelle que soit la culture. Ainsi, les changements de mode et de tempo ont des effets systématiques sur la valence émotionnelle des morceaux : un morceau semble plus gai lorsque son tempo augmente. Le mode et le tempo constituent deux caractéristiques musicales essentielles pour faire varier les émotions selon les dimensions de valence émotionnelle et de dynamique. D'autres paramètres liés aux multiples qualités acoustiques des sons contribuent également à faire varier l'expression des extraits musicaux. La sérénité et la douceur sont généralement déclenchées par des sons joués à faible amplitude, avec des harmonies très consonantes, des timbres acoustiquement pauvres, des articulations très liées et des rythmes réguliers.

La colère sera plus facilement évoquée par des sons détachés, puissants, ayant des enveloppes d'amplitude instable, des spectres harmoniques très riches, des harmonies dissonantes et des rythmes et tempos irréguliers. Il est évident que la façon dont ces différents aspects du langage musical occidental (modulation, tonalité, ornements, etc.) sont combinés au sein d'une œuvre avec les autres paramètres sonores offre au compositeur une infinité de moyens de définir des structures sonores expressives.

L'œuvre musicale regorge donc d'éléments susceptibles d'émouvoir l'auditeur. Ces éléments peuvent être immédiatement perceptibles lorsqu'ils sont liés aux qualités des matériaux sonores ou, au contraire, ils peuvent nécessiter des traitements cognitifs complexes liés à l'analyse de la syntaxe musicale. Ainsi, il est possible que plusieurs processus émotionnels cohabitent à différentes échelles de temps lorsque nous écoutons une œuvre, certains étant immédiats, d'autres plus lents.

On pensait que les processus émotionnels en musique étaient plus lents. Ne dit-on pas qu'il faut « entrer » dans l'œuvre pour la ressentir ? Pourtant, les études révèlent le contraire. I. Peretz et ses collègues ont montré qu'il suffit de 500 millisecondes de musique pour différencier des musiques gaies de musiques tristes. Toutefois, les musiques gaies étant généralement jouées à des tempos plus rapides que les musiques tristes, on s'est demandé si les sujets de l'étude n'avaient pas fondé leurs réponses sur les différences de rythmes, perceptibles en 500 millisecondes. Nous avons repris cette recherche en présentant les 27 extraits de musique classique de l'expérience précédente, mais, à la différence de l'étude initiale, nous n'avons fait entendre que les 500 premières millisecondes des extraits. On demandait ensuite aux sujets de regrouper les extraits qui semblaient évoquer des émotions similaires.

L'émotion musicale est reconnue instantanément

Les résultats obtenus avec des extraits aussi courts sont très similaires à ceux obtenus avec des extraits plus longs. Cela suggère que 500 millisecondes de musique suffisent pour que l'auditeur perçoive l'expression de la pièce. Dans une variante de cette étude, nous avons présenté des extraits de musique (classique ou populaire) dont nous savions par des études préalables qu'une moitié était jugée très expressive par les auditeurs et l'autre moitié relativement neutre. Nous avons cherché à savoir combien de millisecondes de musique étaient nécessaires pour que les auditeurs différencient ces deux catégories d'extraits. Les résultats indiquent que 250 millisecondes de musique suffisent pour que l'auditeur ait une intuition juste du caractère émotionnellement riche ou neutre de l'extrait musical qu'il écoute.

Ce résultat est important, car il indique que le cerveau humain répond émotionnellement aussi vite à la musique qu'à un stimulus biologiquement pertinent (une menace pour la vie de l'individu). Il suggère également qu'il y aurait, pour les émotions musicales, une voie très rapide essentiellement fondée sur les caractéristiques spectrales du son et une voie plus lente, qui analyserait les structures plus abstraites des œuvres. Il est bien sûr évident que l'émotion musicale change au fil de l'écoute et s'enrichit à mesure que l'œuvre se déploie.

L'ensemble de ces observations contribue à mieux comprendre la place de la musique dans nos sociétés. Le fait que nos réponses émotionnelles à la musique soient aussi riches, reproductibles pour le même individu, mais aussi d'une personne à l'autre, rapides et si profondément enracinées dans notre cerveau, suggère que la musique a un statut bien spécifique pour l'espèce humaine, même si une vaste question reste ouverte : quelle est sa valeur adaptative ? Aurait-elle été sélectionnée en même temps que le langage, autre voie de communication universelle ? Ou a-t-elle été sélectionnée parce qu'elle « adoucit les mœurs » et que les sociétés dont les membres étaient sensibles à la musique se sont davantage multipliées ? ■

Bibliographie

E. Bigand et B. Poulin-Charronat, *Musical Pitch, The Oxford Handbook of Music Psychology*, sous la direction de I. Cross, Oxford University Press, 2008.

E. Bigand et S. Filipic, *Cognition et émotions musicales*, in *Intellectica*, vol. 48-49, pp. 37-50, 2008.

E. Bigand, *Musiciens et non-musiciens perçoivent-ils la musique différemment ?*, in *Le Cerveau Musicien*, sous la direction de B. Lechevalier, F. Eustache et H. Platel, De Boeck, 2006.

E. Bigand et al., *Multidimensional scaling of emotional responses to music : the effect of musical expertise and excerpts « duration »*, in *Cognition & Emotion*, vol. 8, pp. 1113-1139, 2005.

S. McAdams et E. Bigand, *Penser les sons*, PUF, 1994.

La musique adoucit les mœurs

Vous êtes stressé ? Écoutez de la musique ! Elle réduit les concentrations sanguines en hormones du stress, et fait disparaître les tensions accumulées.

Stéphanie Khalfa est chargée de recherches à l'Institut des Neurosciences de la Méditerranée, INCM, CNRS UMR 6193, à la Faculté de Médecine Timone, Université de la Méditerranée.

En Bref

- Le cortisol, l'hormone du stress est indispensable, car il permet à l'organisme de réagir correctement.
- Mais, dès que le danger est passé, sa concentration doit se normaliser.
- Des expériences en laboratoire montrent que l'écoute de Mozart accélère le retour à la normale de cette concentration.

Sans stress, la vie serait une sinécure. Malheureusement, le stress est omniprésent. Vous vous souvenez sûrement d'une réunion de travail qui s'est mal terminée, où vous avez eu une âpre discussion avec l'un de vos collègues. De retour chez vous, vous étiez dans un état de tension extrême. Vous vous êtes installé sur votre canapé et vous avez pris un apéritif. En vain : votre estomac est resté noué, et vous n'avez pu oublier vos soucis. Puis vous avez mis un morceau de musique. Progressivement, vous vous êtes détendu et une sensation de bien-être vous a envahi.

Le stress modifie le fonctionnement de l'organisme. Sa première fonction est la défense. Nos lointains ancêtres étaient déjà dotés de systèmes de réactions qui devaient assurer leur survie dans les situations dangereuses. Quelques dizaines de milliers d'années ont passé entre l'attaque d'un ours des cavernes et une altercation avec un collègue agressif…, mais les réactions physiologiques sont les mêmes : du cortisol, l'hormone du stress, est libéré dans l'organisme et une cascade de réactions métaboliques prépare à la fuite ou au combat. L'événement passé, le cortisol reste quelque temps dans l'organisme : vous restez sur le qui-vive et votre estomac est noué. Comment la concentration en cortisol se normalise-t-elle ?

Nous avons mesuré les concentrations en cortisol chez des personnes ayant vécu une situation de stress déclenchée lors d'une expérience en laboratoire. Puis nous avons fait écouter de la musique à ces volontaires et nous avons constaté que certaines musiques particulièrement apaisantes et harmonieuses font diminuer la concentration sanguine en hormone de stress. Ainsi, la musique adoucit bien les mœurs !

Les circuits du stress

Pour bien comprendre comment le stress naît d'une agression et peut être combattu, examinons la façon dont le cerveau réagit face à une situation difficile. Lors d'un stress d'origine psychologique ou physique (agression, angoisse avant l'examen, réunion houleuse ou tensions familiales), le système limbique, le centre des émotions, est activé. C'est ce système qui déclenche le plaisir de voir un ami ou la peur face à un serpent. Cette structure cérébrale comporte notamment une zone nommée complexe amygdalien, ou amygdale, qui s'active fortement lorsqu'on ressent une agression, une frayeur, un sentiment désagréable.

Que fait votre amygdale cérébrale lorsque vous vous êtes disputé ? Elle vous prépare à vous défendre. Elle envoie un message à l'hypothalamus, lequel donne à l'hypophyse antérieure l'ordre de relâcher une hormone nommée ACTH *(voir la figure page ci-contre)*. Cette hormone circule dans le sang jusqu'à deux glandes situées au-dessus des reins – les glandes surré-

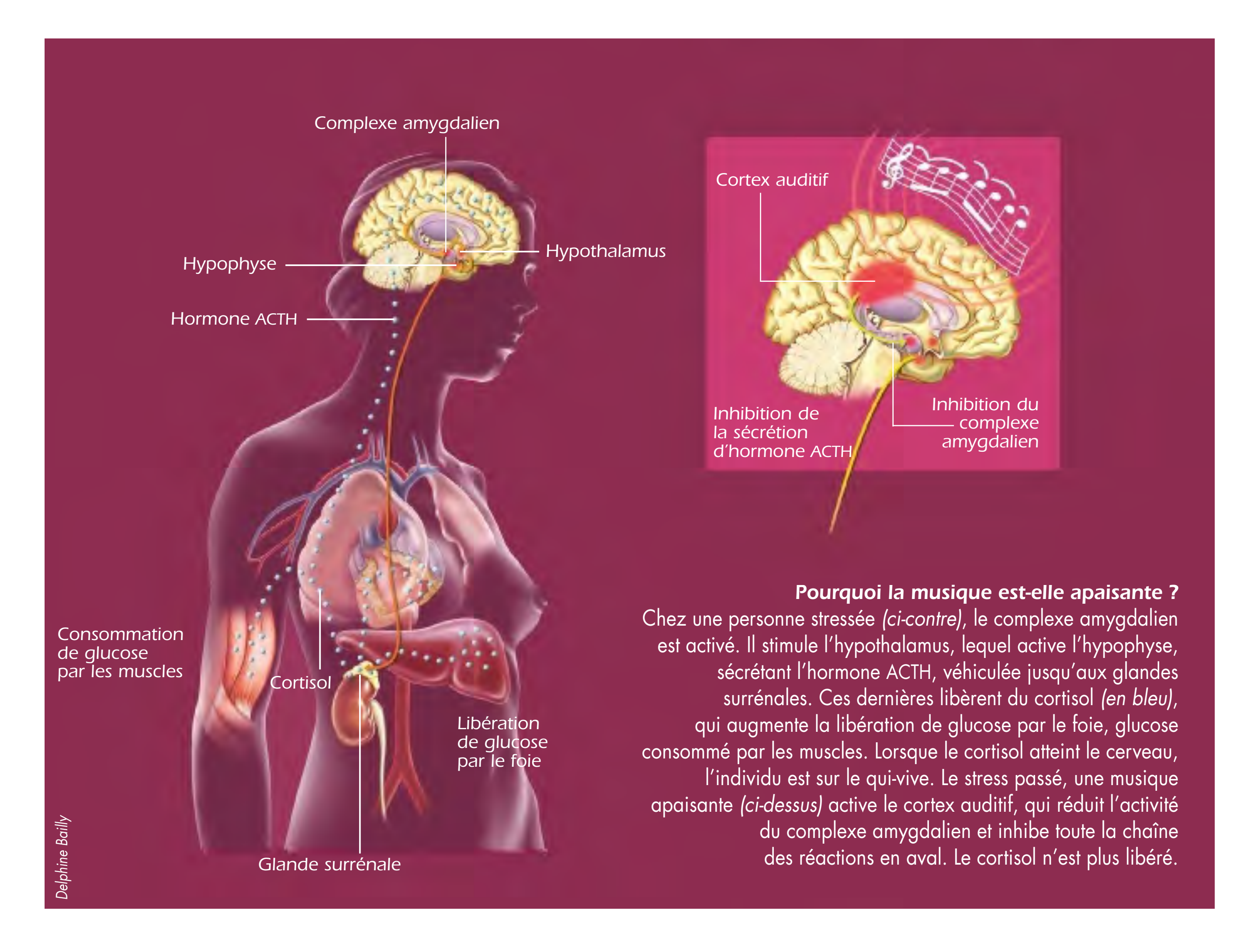
nales –, qui libèrent du cortisol. À son tour, le cortisol stimule des fonctions de l'organisme utiles pour se défendre contre une agression. Simultanément, il inhibe d'autres fonctions, notamment la sécrétion d'insuline ; le foie libère du glucose, qui n'est pas dégradé, puisque l'insuline diminue, de sorte que les muscles peuvent le consommer pour fuir ou affronter le danger. Le cortisol agit aussi sur le cerveau, où il favorise le comportement agressif.

Ainsi, le cortisol est bénéfique, puisqu'il favorise l'adaptation de l'individu à son environnement. Toutefois, quand le stress se prolonge et que sa concentration sanguine reste élevée, il devient nocif : à long terme, il perturbe les fonctions reproductrices et le système immunitaire, entraîne une prise de poids, favorise l'apparition de diabète de type 2, perturbe la mémoire ou favorise les dépressions. Par conséquent, les concentrations sanguines en cortisol doivent rester normales.

Comme beaucoup de personnes ont fait l'expérience du pouvoir relaxant de la musique (il existe des méthodes de musicothérapie pour combattre le stress), nous avons développé une approche scientifique pour savoir par quel phénomène salutaire la musique agit sur la concentration de l'hormone du stress. Nous avons réuni 24 étudiants de l'Université de Montréal et les avons placés dans des conditions de stress, en nous fondant sur un protocole de stress psychologique nommé *Trier Social Stress Test* (conçu en 1993 par les psychologues américains C. Kirschbaum et D. Hellhammer). Les étudiants étaient reçus par des expérimentateurs se présentant comme des psychologues du comportement. Ils leur annonçaient qu'ils seraient étudiés et filmés à travers une vitre sans tain.

Musique en laboratoire

Les étudiants disposaient de dix minutes pour préparer une intervention orale de cinq minutes, pendant laquelle ils devaient faire semblant de postuler à un emploi de leur choix. Puis, juste avant de commencer cet oral, on leur retirait leur feuille de préparation, ce qui leur causait un premier stress. Ensuite, on leur demandait de fixer la caméra, et de parler jusqu'à ce qu'on les autorise à s'arrêter.



Pourquoi la musique est-elle apaisante ?
Chez une personne stressée *(ci-contre)*, le complexe amygdalien est activé. Il stimule l'hypothalamus, lequel active l'hypophyse, sécrétant l'hormone ACTH, véhiculée jusqu'aux glandes surrénales. Ces dernières libèrent du cortisol *(en bleu)*, qui augmente la libération de glucose par le foie, glucose consommé par les muscles. Lorsque le cortisol atteint le cerveau, l'individu est sur le qui-vive. Le stress passé, une musique apaisante *(ci-dessus)* active le cortex auditif, qui réduit l'activité du complexe amygdalien et inhibe toute la chaîne des réactions en aval. Le cortisol n'est plus libéré.


Lia Kollyrina / Shutterstock

La musique adoucit les mœurs... mais pas toutes les musiques. Des expériences ont montré que la musique de Mozart réduit la concentration sanguine de cortisol, l'hormone de stress.

Ils avaient beaucoup de difficultés à s'exprimer longtemps. Ils étaient impressionnés par ce protocole sérieux. En outre, on leur demandait d'effectuer pendant cinq minutes, sans s'arrêter, une tâche de calcul mental consistant à retrancher plusieurs fois le nombre 13 du nombre 1647, en énonçant à chaque fois les résultats intermédiaires. À chaque erreur, une sonnerie stridente retentissait et leur signalait qu'ils devaient recommencer depuis le début.

À l'issue de cette épreuve, la moitié des étudiants allaient se détendre pendant 45 minutes dans un local calme. L'autre moitié écoutait en plus de la musique apaisante : compositeurs de musique de film ou d'ambiance, tels Vangelis, Yanni ou Enya. En même temps, nous mesurions, à intervalles de temps réguliers, les concentrations de cortisol dans leur salive, grâce à des bâtons de coton qu'ils gardaient dans leur bouche. Nous avons observé que, 15 minutes après la fin du stress, la concentration en cortisol continuait à augmenter chez les étudiants se reposant sans musique. Au contraire, chez ceux qui écoutaient de la musique, la concentration en cortisol diminuait au bout d'un quart d'heure.

Que s'est-il passé chez les étudiants ayant écouté de la musique ? La zone du cerveau qui perçoit les sons, le cortex auditif, conjointement avec d'autres structures impliquées dans le traitement émotionnel ont été activées et ont vraisemblablement interagi avec l'amygdale spécialisée dans les réactions de peur. Ce noyau a cessé de stimuler l'hypothalamus, lequel a cessé de provoquer la sécrétion d'ACTH par l'hypophyse. En absence d'ACTH, les glandes surrénales ont arrêté de libérer du cortisol.

Ce « circuit de l'apaisement » est encore hypothétique, mais des indices s'accumulent. Il y a quelques années, les chercheurs Ann Blood et Robert Zatorre, de l'Université Mac Gill, et Isabelle Peretz, de l'Université de Montréal, ont, par exemple, montré que la musique active des structures cérébrales intervenant dans la perception des émotions, notamment l'amygdale cérébrale et le cortex orbito-frontal, lesquels interagissent avec l'hypothalamus.

Ces observations sont encourageantes : il suffirait d'écouter de la musique pour ne plus sentir les effets du stress, mais toutes les musiques n'ont pas cet effet bénéfique. Les mélodies que nous avons utilisées étaient caractérisées par leur lenteur, leur régularité de tempo et leur harmonie. Il semble que le cortex auditif dispose d'une faculté naturelle pour reconnaître certains motifs sonores particuliers, stressants ou apaisants. Notamment, les morceaux comportant des disparités de rythme et des dissonances seraient plus stressants, alors que les tempos lents et réguliers seraient apaisants. Un autre style musical aurait sans doute eu des effets différents. Ainsi, une étude précédente a montré que la musique « techno », même lorsqu'elle est appréciée par les personnes qui l'écoutent, augmente la concentration sanguine en cortisol.

Mozart ou techno ?

Que faire quand on est un inconditionnel de la techno et que l'on vit des situations difficiles au travail ? Heureusement, nous avons aussi constaté que l'effet antistress ne dépend pas tellement du goût personnel pour la musique. Certains étudiants ont déclaré ne pas avoir apprécié la musique qu'ils avaient entendue, et pourtant leurs concentrations en cortisol diminuaient autant que celles des étudiants qui aimaient les musiques proposées. Il semble plutôt que certaines caractéristiques des morceaux de musique agissent de façon inconsciente sur des structures cérébrales relativement constantes d'un individu à l'autre. Ainsi, que le passionné de techno se rassure : il peut écouter Mozart et s'en trouver apaisé.

Tout cela nous amène à relativiser notre point de vue initial. Finalement, il n'est pas tout à fait vrai que la musique adoucisse les mœurs. Elle peut aussi bien les agiter, si sa structure rythmique est nerveuse et si elle comporte des dissonances. Il serait plus juste d'en revenir à cet ancien adage : « Pour contrôler un peuple, contrôle sa musique. » Une réflexion qui n'a pas attendu la découverte du cortisol, puisque nous la devons à Platon qui l'a formulée il y a quelque 2 300 ans. ■

Bibliographie

U. Nilsson, *The anxiety- and pain-reducing effects of music interventions : a systematic review*, in *AORN Journal*, vol. 87(4), pp. 780-807, 2008.

S. Lupien et al., *Cortisol levels during human aging predict hippocampal atrophy and memory deficits*, in *Nature Neuroscience*, vol.1, p. 69,1998.

L'effet Château Lafite

Nicolas Guéguen, enseignant-chercheur en psychologie sociale à l'Université de Bretagne-Sud, dirige le groupe de recherches en sciences de l'information et de la cognition, à Vannes.

Entrer dans un magasin avec l'intention d'acheter un vin de pays, et ressortir avec un Château Lafite, est-ce possible ? Oui, si le caviste vous a habilement préparé à l'aide d'une musique de fond adéquate.

En Bref

- Par un effet dit d'amorçage, certains mots ou certaines musiques préparent le cerveau à réagir d'une façon particulière.
- Ainsi, Mozart amorcerait le champ sémantique de la culture et du raffinement.
- Le rythme que l'on préfère serait celui des battements du cœur (70 par minute).
- Le volume sonore le plus apprécié dépend des circonstances (élevé en boîte de nuit, moyen dans un restaurant).

Il vous reste à peine dix minutes pour trouver un cadeau à offrir aux amis qui vous ont invité ce soir. Heureusement, le caviste à l'angle de la rue est encore ouvert. Vous poussez la porte de la boutique, avec l'idée de trouver un vin de pays authentique pour accompagner l'apéritif. Or, à peine entré dans le magasin, un sentiment étrange vous saisit. Vous avez subitement envie de quelque chose de plus raffiné. Malgré vous, vous vous dirigez vers le rayon des grands Bordeaux. Les papilles en émoi, vous lisez les étiquettes les plus renommées : « Château Cheval Blanc », « Château Margaux »… et vous trouvez votre bonheur, un Château Lafite 1985. Vous vous saisissez de la dive bouteille et passez à la caisse.

Victime d'amorçage cognitif !

Vous voilà sur le trottoir, votre bouteille de vin à la main, et vous ne réalisez pas bien ce qui vous est arrivé. Était-ce l'ambiance de cette boutique ou quelque détail que vous n'auriez pas remarqué qui vous a fait dépasser le budget prévu ?

Si vous retournez dans cette boutique, et si votre caviste est bon psychologue, peut-être alors distinguerez-vous, en sourdine, une douce musique diffusée par des haut-parleurs. Vous ne vous trompez pas : c'est le *Concerto pour piano en ut mineur* de Mozart, dont la mélodie vous envahit. Votre méfiance s'éveille… Cette musique vous aurait-elle guidé vers le nectar des coteaux bordelais ? L'hypothèse n'est pas absurde : en 1993, les psychologues sociaux Charles Areni, de l'Université James Cook en Australie, et David Kim, de l'Université technologique du Texas, ont diffusé de la musique classique dans une boutique de vins et ont constaté que le montant des achats des clients était multiplié par 2,5 ! Pourtant, les clients n'avaient pas acheté un plus grand nombre de bouteilles, mais ils avaient acheté des vins plus prestigieux.

Un petit cours de psychologie s'impose et, plus précisément, de « théorie de l'amorçage ». Comment fonctionne le phénomène d'amorçage ? Il s'agit d'un phénomène où une première stimulation, à laquelle on ne fait pas forcément attention, prépare le cerveau à en traiter d'autres de façon sélective. On s'en aperçoit en montrant le mot *travail* à un volontaire, puis en lui demandant d'appuyer le plus vite possible sur un bouton dès qu'il aura identifié le mot suivant qui se présentera sur un écran. On constate que le volontaire appuie plus vite s'il voit le mot *ordinateur* que s'il voit le mot *fleur* : son cerveau a été préparé, par le mot *travail*, à traiter plus vite les mots reliés à ce mot par des liens de sens, des liens sémantiques.

Dans le cas du magasin de vin, la musique de Mozart a vraisemblablement amorcé des mots tels que *culture*, *raffinement*, *prestige*. Ces mots préactivent à leur tour des noms de châteaux prestigieux, tel Château Lafite, que vous avez en mémoire. En réalité, Mozart ne fait pas augmenter uniquement les ventes de Château Lafite. Il serait plus correct de dire que la musique classique en général améliore les ventes des vins raffi-

nés. Toutefois, certaines musiques plus typiques orientent les acheteurs vers certains produits. Le psychologue Adrian North et ses collègues, de l'Université de Leicester, en Grande-Bretagne, ont ainsi étudié les ventes d'un rayon de vin d'un grand supermarché. Selon les cas, ils diffusaient de la musique folklorique française ou allemande. Ils ont constaté que les consommateurs exposés à la musique allemande achetaient des petits vins blancs du Rhin, alors que ceux qui avaient été exposés à la musique française se reportaient sur des vins français.

Le rythme magique : 70 battements par minute

Selon A. North, la musique agirait comme une amorce en orientant l'attention vers des produits « congruents » avec ces amorces, c'est-à-dire des produits qui complètent l'amorce pour former un ensemble cohérent. Les clients, ayant pensé à la France à cause de la musique, s'intéressent inconsciemment aux vins français. Le plus amusant, c'est que les clients soutiennent que la musique n'a eu aucune influence sur leur choix…

Mozart, l'accordéon auvergnat ou les flonflons de la fête de la bière : qu'est-ce qui, dans toutes ces musiques, constitue l'élément déclencheur de l'acte d'achat ? Tempo, rythme, timbre, harmonie ? L'effet du tempo, par exemple, a été étudié en détail. Le professeur de marketing Ronald Milliman, de l'Université du Kentucky, aux États-Unis, a montré que, dans un restaurant, une même musique instrumentale (ici du jazz) diffusée à un tempo de 70 battements à la noire par minute, comparativement à un tempo de 92 battements à la noire, conduisait les clients à rester plus longtemps à table et se traduisait par un surcroît d'un tiers de consommation de boissons.

Le tempo de 70 battements à la noire par minute entraîne en outre plus d'achat de desserts, d'apéritifs et de café en fin de repas. Selon ces chercheurs, un tempo lent suscite un niveau plutôt modéré d'activation physiologique (excitation faible de l'organisme, battements cardiaques lents, faible sécrétion d'adrénaline), état favorable à l'apparition d'émotions positives, détente, envie d'une douceur ou de prolonger un moment de délassement par un digestif.

Le neuropsychologue japonais Makoto Iwanaga, de l'Université d'Hiroshima, a découvert que le tempo de 70 battements par minute serait en quelque sorte le rythme préféré des humains ! Il a réuni des volontaires et leur a fait écouter de la musique sur un ordinateur muni d'une commande permettant d'ajuster le tempo à volonté (un curseur permet d'accélérer la musique ou de la ralentir). Il a constaté que les candidats finissent le plus souvent par ajuster le tempo à la fréquence de leurs propres battements cardiaques, généralement situés autour de 70 battements par minute. Ainsi, le cœur agirait comme un métronome de nos préférences.

Une musique diffusée au tempo de 70 battements par minute suit le rythme cardiaque et produit, pour cette raison, une sensation de détente. Si le rythme était plus rapide, l'état d'excitation du corps et les battements cardiaques augmenteraient, entraînant une modification du comportement : c'est ce qu'ont montré certaines études qui mettent en lumière le fait que la vitesse à laquelle on vide son verre dans un bar



© Ch. Lafite Rothschild/Delphine Maratier

Bibliographie

N. Guéguen, *Psychologie du consommateur : Pour mieux comprendre comment on vous influence, Dunod, 2008.*

D. Hargreaves et A. North, *The Social and Applied Psychology of Music, Oxford University Press, 2008.*



ou la vitesse à laquelle on mastique sa nourriture sont reliées au tempo de la musique d'ambiance.

À en croire ces données, un concerto de Mozart diffusé au tempo de 70 battements par minute constituerait la recette idéale pour vendre des grands crus dans un magasin. En revanche, pour vendre des galettes bretonnes ou du cidre, de la musique celtique à 80 ou 90 battements par minute pourrait se montrer plus efficace, surtout si les consommateurs doivent pousser de lourds chariots à travers les rayons tout en surveillant leurs enfants (leur rythme cardiaque augmente).

Qu'en est-il du volume sonore ? Chacun sait que, dans certains lieux (bars ou boîtes de nuit), le volume élevé de la musique crée une certaine ambiance pour une clientèle jeune qui cherche à se défouler. Dans d'autres cas, le caractère à peine suggéré de la musique vise des fins opposées : c'est, par exemple, la musique très calme des salles de massage. Des études de psychologie récentes suggèrent qu'un volume sonore élevé est efficace dans certaines situations.



Ainsi, nous avons observé le comportement de consommation de boissons dans des bars fréquentés par des jeunes gens âgés de 18 à 25 ans. Le même style de musique était diffusé dans les bars à 72 décibels (volume moyen) ou à 88 décibels (volume élevé). Le niveau qualifié de moyen correspondait à celui mesuré habituellement dans ces bars. Des observateurs installés dans le bar avaient pour mission d'observer le comportement des clients et de noter le nombre de verres que ces derniers commandaient. Ils ont constaté que les clients attablés dans l'ambiance musicale à 88 décibels commandaient en moyenne 28 pour cent de verres en plus comparés à ceux qui étaient attablés dans une ambiance musicale à 72 décibels.

Volume sonore ou volume de boisson ?

Le volume sonore créerait un état d'excitation de l'organisme, qui aurait besoin de s'alimenter et de se désaltérer davantage. Le mécanisme de cette excitation reste à découvrir, mais, à l'Université de Pavie, A. Zanchetti et ses collègues ont montré que les sons intenses font augmenter la pression sanguine chez les auditeurs. En outre, à l'Université de Montréal, l'équipe de S.J. Lupien a montré que la musique des jeux vidéo pour enfants fait augmenter la concentration sanguine en cortisol, l'hormone du stress. Cette hormone est un signal d'éveil pour tout l'organisme, qui le prépare au mouvement, à la fuite ou à l'attaque, ainsi qu'à la prise de nourriture. Mais peut-être l'explication est-elle plus simple : à cause du volume sonore élevé, les clients attablés doivent faire plus d'efforts pour se concentrer sur la discussion, ils sont contraints de parler plus fort et auraient plus soif pour cette raison. Nous avons d'ailleurs montré que, dans ces bars, la vitesse à laquelle on vide son verre est proportionnelle au volume sonore.

Le volume élevé s'est révélé efficace dans notre bar pour jeunes, mais il ne le serait pas dans tous les cadres. Ainsi, en 2003, le psychologue Bruce Lammers, de l'Université de Northbridge, en Californie, a réalisé des expériences similaires, mais dans un restaurant plutôt calme en bord de mer. Cette fois, un faible volume sonore s'accompagnait d'une consommation moyenne égale à 21,63 dollars, au lieu de 18,57 dollars pour un volume sonore élevé. Tout dépend, par conséquent, de ce que les gens viennent chercher. S'ils se reposent au bord de la mer, il ne paraît pas judicieux de les brusquer. Mais c'est du bon sens… ■



Martin Allinger / Shutterstock

Les effets de la musique

On sait depuis longtemps que la musique influe sur l'humeur et suscite des émotions fortes. Aujourd'hui, on découvre les nombreux effets qu'elle a sur le cerveau. Elle améliore la mémoire et les capacités d'apprentissage, renforce la plasticité cérébrale, et a même des effets thérapeutiques dont on n'a sans doute pas encore mesuré l'ampleur. Elle reste étonnamment vivace chez les personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer.

La musique rend-elle intelligent ?

Diverses expériences montrent que la musique facilite la lecture ou l'apprentissage des langues. Elle améliore surtout la mémoire et la concentration, et favorise l'intelligence émotionnelle.

Emmanuel Bigand, professeur de psychologie cognitive, membre de l'Institut universitaire de France, dirige le Laboratoire d'étude de l'apprentissage et du développement, UMR 5022, à l'Université de Bourgogne, à Dijon.

En Bref

- L'effet Mozart, selon lequel l'écoute de ce compositeur rendait plus intelligent, a été invalidé, mais a ouvert la voie aux recherches sur l'effet de la musique sur les capacités cognitives.
- Des enfants étudiant le piano ou le chant répondent mieux aux tests de QI que ceux qui ne pratiquent pas la musique.
- L'apprentissage d'un instrument permet de développer la coordination motrice, la mémoire et la concentration.

La musique améliore-t-elle les capacités cognitives ? Aujourd'hui, les sciences cognitives donnent une réponse claire : Oui ! Précisons ce que cela signifie. L'intuition que l'apprentissage musical contribue au développement intellectuel n'est pas nouvelle. Dans l'Antiquité et au Moyen Âge, l'enseignement était divisé en sept arts libéraux, classés en deux catégories : le trivium (les arts du langage : grammaire, dialectique et rhétorique) et le quadrivium (les arts mathématiques : arithmétique, géométrie, astronomie et musique). Depuis, la musique a perdu cette place de choix qui la plaçait au rang des mathématiques. Pourtant, les neurosciences cognitives confirment aujourd'hui que cette prééminence était justifiée et devrait être rétablie.

Comment étudier l'impact de la musique sur le cerveau et les capacités intellectuelles ? L'histoire commence d'une façon bien singulière par un article de Frances Rauscher et de ses collègues publié en 1993. Ils y rapportaient que l'écoute de dix minutes de la sonate pour deux pianos en *ré* majeur de Mozart entraînait une augmentation des performances intellectuelles dans des tâches de raisonnement spatial servant à évaluer le quotient intellectuel. Bien que faible, cette augmentation semblait significative au plan statistique. Les groupes contrôles étaient en tout point similaires au groupe « Mozart » sauf que l'un écoutait de la musique, et l'autre non. Si cet article n'avait pas été publié dans la revue *Nature*, « l'effet Mozart » n'aurait sans doute jamais été pris au sérieux. La musique de Mozart aurait-elle un pouvoir tel que dix minutes de son écoute suffiraient à augmenter le QI ? L'interprétation facile – mais fausse – donnée à ce résultat fut que Mozart rendait intelligent, et que, par conséquent, il fallait faire écouter ce compositeur le plus tôt possible aux enfants, voire aux bébés et aux fœtus.

L'arnaque de l'effet Mozart

L'exploitation financière du résultat ne tarda guère et de nombreux parents achetèrent sans hésitation le coffret CD de musique prénatale de Mozart *(Mozart Prenatal Music CD Kit)*. Le gouverneur de Géorgie, Zell Miller, finança même l'acquisition d'un kit de musique classique pour tous les enfants nés dans sa province. Le gouvernement allemand, plus prudent, commanda en 2006 une méta-analyse de 300 recherches sur ce thème pour vérifier le bien-fondé de ces conclusions. Le résultat de l'équipe de F. Raucher était si provocateur, et souvent si mal interprété, qu'il donna lieu à une controverse scientifique importante. Plusieurs équipes n'étant pas parvenues à répliquer ce résultat, on en

1. Les enfants qui pratiquent la musique ont, d'après diverses expériences récentes, des capacités cognitives supérieures à ceux qui ne jouent pas d'un instrument ni ne chantent. *Jeunes filles au piano*, Auguste Renoir (1892).



arriva à penser que l'heure du « requiem pour l'effet Mozart » avait sonné, comme le proclamait un autre article publié en 1999 dans la même revue *Nature*.

Que faut-il en penser ? Le fait qu'une exposition préalable à un stimulus particulier puisse augmenter les performances dans des tâches cognitives spécifiques n'a rien de surprenant. Toutes les études de psychologie cognitive sur les effets dits d'amorçage montrent que l'on peut préparer implicitement le cerveau à effectuer une opération en l'amorçant par la présentation d'un stimulus ou d'un exercice spécifique. Par exemple, quand on présente une image à un sujet pendant une durée suffisamment courte pour qu'il n'en ait pas conscience, on constate qu'il trouve juste après des mots du même domaine sémantique plus vite qu'un sujet qui n'aura pas subi cette étape d'amorçage. Cet effet est généralement de courte durée et limité à la tâche présentée.

L'effet Mozart pourrait entrer dans cette catégorie d'effets. Il ne porte que sur une composante intellectuelle bien spécifique (le raisonnement spatial) et ne semble pas dépasser 15 minutes. Cette limitation faite, le résultat n'en demeure pas moins surprenant. Pourquoi un stimulus musical entendu pendant une si courte durée aurait-il un effet même temporaire sur la réalisation d'une tâche non musicale, surtout chez des auditeurs n'ayant jamais étudié la musique ? On a proposé que l'écoute préalable de Mozart activerait les zones cérébrales qui sont également impliquées dans le raisonnement spatial (cerveau droit).

Cet amorçage cérébral par la musique n'est pas entièrement convaincant, car toutes les stimulations musicales n'entraînent pas cet effet. On a également montré que les effets à court terme de la musique sur des tâches cognitives ne sont pas spécifiques à Mozart, mais dépendraient des caractéristiques structurelles ou psycho-affectives des œuvres. Ainsi, la répétition des motifs dans la sonate de Mozart aurait un élément stimulant. D'autres pièces tonales ayant des organisations musicales similaires à celle de Mozart auraient le même effet.

En revanche, la dynamique des pièces musicales contribue à améliorer les performances en augmentant l'attention des sujets. Dans ce cas, l'effet n'est pas spécifique de la musique, et diverses stimulations non musicales ont un effet similaire. Enfin, d'autres études ont révélé que la présence d'un effet bénéfique dépendait tout simplement du plaisir que les sujets ont eu à écouter la musique présentée avant le test cognitif : ce serait le plaisir qui améliorerait les performances cognitives.

De l'effet Mozart à l'effet musique

Ces différentes observations nous incitent à modérer considérablement les conclusions naïves qui avaient été tirées de l'étude initiale. Il est évident que la musique, quel que soit son pouvoir, n'a pas celui de nous rendre plus intelligents en dix minutes. Il n'est reste pas moins que cette étude a ouvert une brèche dans notre façon de concevoir cette activité : et si la musique, aussi plaisante et agréable soit-elle, pouvait modifier durablement notre cerveau et notre fonctionnement intellectuel ? L'ensemble des recherches menées autour de l'effet Mozart indiquent que la musique aurait bel et bien un effet positif sur nos capacités cognitives de différentes façons, certaines spécifiques, c'est-à-dire liées à la structure de l'œuvre, et d'autres plus générales, liées à la stimulation de l'attention et à l'appréciation esthétique des sujets. L'effet Mozart cacherait un « effet musique » plus fondamental.

Plusieurs découvertes concomitantes ont justifié d'approfondir cette hypothèse. Tout d'abord, on a montré en 1999 que l'écoute intensive de la musique modifie le comportement d'un animal. Selon le type de musique, des améliorations des performances comportementales peuvent être observées chez le rat dans des tâches qui, si elles étaient réalisées par l'homme, seraient qualifiées d'intelligentes.

Ainsi, deux groupes de rats furent exposés pendant 60 jours soit à la sonate de Mozart, soit à une œuvre du compositeur américain de musique contemporaine Philip Glass. Ils furent ensuite placés dans un labyrinthe durant cinq jours et on a observé leurs performances (la facilité avec laquelle ils trouvaient de la nourriture ou

2. La musique a une influence, même chez les rats, qui trouvent plus facilement la nourriture dans un labyrinthe ! Mais les performances augmentent plus avec la musique de Mozart qu'avec de la musique contemporaine.

sextoacto / Shutterstock

la sortie du labyrinthe, par exemple). Les rats exposés à Mozart étaient plus rapides et faisaient moins d'erreurs que les autres pour trouver la sortie du labyrinthe, cette différence étant sensible dès le troisième jour, et leur rapidité augmentait encore les jours suivants. Cette étude suggère qu'une exposition prolongée à des stimulations auditives complexes (Mozart) entraînerait une réorganisation cérébrale conduisant à de meilleures capacités spatio-temporelles.

De nombreuses recherches montrent que, chez le musicien expert, l'apprentissage intensif de la musique conduit à des réorganisations anatomiques et fonctionnelles du cerveau. Par exemple, le planum temporale est plus développé chez les musiciens experts. Comme cette structure est également impliquée dans des tâches de mémoire verbale, on suppose que les musiciens ont en moyenne des performances supérieures en mémoire verbale. En effet, il a été établi que les réseaux activés par la musique recouvrent partiellement ceux activés par le langage. Cela contribue à expliquer qu'une remédiation des troubles du langage par la musique est efficace.

Piano, chant, théâtre ou… rien

Cette logique peut être étendue à d'autres fonctions cognitives. En effet, on sait qu'il n'existe pas une seule « aire cérébrale » bien délimitée activée par la musique. Par ses différentes composantes structurelles et émotionnelles, la musique stimule de nombreuses régions du cerveau dans les deux hémisphères, avec une asymétrie plus marquée dans le cortex auditif droit chez les non-musiciens. On en déduit qu'une exposition à la musique et un apprentissage intense de la musique auraient des effets bénéfiques sur une large palette de capacités cognitives qui empruntent les mêmes réseaux neuronaux, notamment les compétences perceptives et émotionnelles. En activant ces réseaux par la musique, on stimulerait les autres fonctionnalités cognitives et ou affectives sous-tendues par ces réseaux.

Les premières études ont cherché à valider cette hypothèse en mesurant la corrélation entre la formation musicale des enfants et leur réussite dans des tâches spécifiques (mémoire, langage, mathématiques, raisonnement etc.), ou leur réussite scolaire, voire leur quotient intellectuel. On a ainsi montré que l'entraînement musical est associé à de meilleures performances motrices, linguistiques (plus grande facilité à la lecture, à l'apprentissage des langues, à la compréhension de la prosodie, plus grande mémoire verbale), mathématiques et de raisonnement. Ces améliorations peuvent se manifester au bout d'un an d'apprentissage musical.

Toutefois, la présence d'une corrélation ne signifie pas qu'il y ait une relation de cause à effet entre des faits qui semblent reliés. Ainsi, rien ne prouve que la pratique musicale soit la cause des meilleures performances constatées chez ces enfants. Il serait tout à fait possible que les enfants ayant des bonnes compétences intellectuelles soient plus enclins à suivre des études musicales. Les deux phénomènes peuvent d'ailleurs être dus à un facteur socio-culturel. Pour conclure à un quelconque effet bénéfique de la musique, il faut suivre des enfants présentant les mêmes caractéristiques (la même réussite en termes de raisonnement, mémoire, vocabulaire, etc.) avant l'apprentissage musical, et observer les performances de ceux qui auront suivi un enseignement musical et de ceux qui n'en auront pas bénéficié.

Les enfants sont répartis au hasard dans le groupe qui reçoit un entraînement musical ou dans celui qui n'en reçoit pas. Quelques études ont été réalisées sur ce principe, notamment par l'équipe canadienne de Glenn Schellenberg, à l'Université de Toronto. Ainsi, 144 enfants ont été répartis au hasard dans quatre groupes. Dans l'un, les enfants suivaient des leçons de piano pendant 38 semaines ; dans le deuxième, des leçons de chant ; le troisième groupe suivait des leçons de théâtre ; et le dernier groupe était un groupe contrôle qui ne suivait pas d'activité particulière. À l'issue de cet entraînement, les enfants passaient les mêmes tests de QI. Alors que les scores étaient identiques au début de l'expérience, ils se sont révélés significativement différents après. Les deux groupes musique (piano et chant) présentaient des scores de deux


Sergey Petrov / Shutterstock

3. Les chefs d'orchestre continuent à diriger des musiciens alors qu'ils sont parfois âgés. Le pianiste Arthur Rubinstein jouait encore des concerts par cœur à l'âge de 80 ans.



Slobodan Ljubisic / Shutterstock

4. La pratique instrumentale en groupe, dans un petit orchestre, augmente sans doute l'empathie et la cohésion sociale chez ceux qui y participent.

à trois points supérieurs sur une échelle en dix points à ceux des groupes théâtre et contrôle.

Les enfants des groupes piano et chant avaient par ailleurs des performances meilleures pour apprécier des changements prosodiques (changement de la mélodie) que ceux du groupe théâtre. En revanche, le groupe théâtre avait des scores de socialisation plus élevés à l'issue de l'étude. D'autres recherches ont montré que la pratique de la musique entraîne une élévation du QI supérieure à celle résultant de l'utilisation d'un ordinateur. Les enfants en échec scolaire progressent davantage grâce à un entraînement musical que par l'usage d'un ordinateur.

La musique pour la mémoire et la concentration

Comment expliquer ces effets bénéfiques de la musique sur les capacités cognitives ? Les raisons sont multiples. Citons-en quelques-unes. L'apprentissage d'un instrument suppose une bonne coordination d'activités mentales, motrices, visuelles, mémorielles, qui toutes requièrent une attention soutenue et une bonne mémoire de travail. Répéter ces tâches régulièrement chez l'enfant peut contribuer à développer des opérations cognitives communes à de nombreuses autres activités intellectuelles (concentration, coordination, mémoire).

Soulignons aussi que la musique ne sollicite pas seulement des activités cognitives : elle contribue au développement de l'intelligence émotionnelle et des circuits neuronaux associés. Ainsi, les enfants qui écoutent de la musique ont de meilleures performances aux tests d'empathie. Les performances dans les tests d'empathie reflètent la capacité à produire et à reconnaître l'expression liée aux contours prosodiques, c'est-à-dire à percevoir si un extrait est triste, gai, ou encore dynamique.

La musique favoriserait-elle l'empathie et contribuerait-elle ainsi à une meilleure cohésion sociale ? Pour les neurosciences, le point le plus important est de souligner la spécificité de cette activité : la musique, à la différence de nombreuses autres activités (sport, théâtre, échecs, etc.), sollicite dans une même unité de temps de nombreuses ressources cognitives, motrices, émotionnelles et sociales de l'enfant. Cette « symphonie cérébrale » orchestrée de façon régulière par l'apprentissage instrumental, ou par l'écoute intensive, est peut-être l'une des clés pour comprendre les effets bénéfiques de la musique sur le développement intellectuel et psychologique.

La musique ouvre également des perspectives nouvelles pour lutter contre les effets du vieillissement cognitif. Divers travaux sur le vieillissement cognitif montrent que les effets du vieillissement sont moins forts chez les musiciens experts que chez des sujets contrôles n'ayant pas développé de compétences spécifiques. Pratiquer la musique serait un moyen de lutte efficace contre les effets du vieillissement cérébral *(voir l'article de Simone Dalla Bella)*.

L'ensemble de ces données suggère que les activités musicales ont des effets bénéfiques sur le développement cérébral et sur les compétences cognitives, émotionnelles et sociales associées. Il ne s'agit pas bien sûr de prétendre que les musiciens sont plus intelligents, sensibles et sociaux que les autres. Il s'agit juste de dire que la pratique de la musique (comme auditeur assidu, ou comme instrumentiste) peut contribuer à développer ses aptitudes cognitives et émotionnelles et faciliter l'apprentissage des notions fondamentales chez le jeune enfant.

Quoi qu'il en soit, les résultats obtenus devraient susciter une réflexion approfondie sur la place accordée à l'enseignement musical dans les programmes scolaires. Sans tomber dans la crédulité naïve du gouverneur de Géorgie, il serait souhaitable de tenir compte de ces découvertes suffisamment étayées aujourd'hui pour être appliquées. Ainsi, les programmes de lutte contre l'échec scolaire devraient inclure des actions musicales, et les apprentissages fondamentaux devraient être favorisés par des actions musicales plus intenses dans les crèches et les maternelles.

Mieux comprendre la place et la fonction de la musique dans nos sociétés présente des enjeux éducatifs et sanitaires importants. La musique n'a certes pas été conçue pour éduquer ni soigner, mais il n'en est pas moins vrai qu'elle a des effets positifs sur les capacités cognitives et qu'elle a une importance biologique et sociale de premier plan. ■

Bibliographie

F. Rauscher et S. Hinton, *The Mozart effect : Music listening is not music instruction*, in *Educational Psychologist*, vol. 41 , pp. 233-238, 2006.

E. Glenn Schellenberg, *Research report music lessons enhance IQ*, in *Psychological Science*, vol. 15(8), pp. 511-514, 2003.

W. Thompson et al., *Arousal, mood, and the Mozart effect*, in *Psychological Science*, vol. 12 (3), pp. 248-251, 2001.

Pratique musicale et plasticité cérébrale

Daniele Schön, est neuroscientifique dans l'Équipe Langage, musique et motricité, à l'Institut de neurosciences cognitives, CNRS et Université de la Méditerranée.

L'étude du cerveau des instrumentistes a révélé la plasticité cérébrale à l'œuvre : de nouvelles connexions entre neurones, de nouveaux neurones. Cette plasticité a des effets positifs sur diverses fonctions cognitives.

En Bref

- La pratique de la musique modifie certaines structures du cerveau, mais aussi des fonctions.
- Si certains sujets ont sans doute des prédispositions génétiques, une pratique régulière et soutenue fait le musicien expert.
- Les capacités conférées par la pratique musicale facilitent le traitement du langage.
- Étant donné le nombre de ses avantages, la pratique musicale devrait être encouragée à l'école.

Pendant longtemps les neurobiologistes ont cru – à tort – que les connexions neuronales se stabilisaient au cours de l'enfance et qu'après elles ne bougeaient plus. Encore profondément ancrée dans les esprits, cette idée reçue s'applique aussi à la musique, et décourage bon nombre de jeunes adultes de commencer à apprendre à jouer d'un instrument de musique ou une nouvelle langue. Elle fait parfois croire que si l'on n'était pas « doué » pour une activité quand on était petit, il n'y a aucun espoir de réussir plus tard. Avant même que les neurosciences confirment que c'est – heureusement – faux, l'étude des autres cultures aurait démonté ces *a priori*. Ainsi, dans certaines cultures gitanes de Roumanie, les enfants âgés de moins de 12 ans n'ont pas l'autorisation de jouer d'un instrument, ce qui ne les empêche pas de renouveler la tradition musicale avec un niveau qui peut très rapidement dépasser celui d'un jeune qui a commencé à trois ans l'apprentissage du violon avec une méthode classique.

Aujourd'hui, on sait que durant toute la vie, les interactions avec l'environnement modifient les connexions entre neurones existants, ou ce qui a été découvert plus récemment que de nouveaux neurones peuvent même être produits chez l'adulte (alors que l'on a longtemps cru que le « capital neurones » était figé à la naissance et que nous ne pouvions qu'en perdre au fil des ans). Lorsqu'une interaction se répète assez souvent, ces nouvelles connexions entre neurones, que l'on nomme synapses, se stabilisent, ce qui consolide les nouveaux acquis, les connaissances, les souvenirs. La plasticité est, par conséquent, primordiale, et l'état stable... n'existe pas. Cependant cette capacité du cerveau à établir des nouvelles connexions est limitée. En effet, si le cerveau retenait tout à la première interaction avec l'environnement, la mémoire serait encombrée d'informations inutiles. Ces dernières sont donc éliminées. Ne sont conservées que les informations pertinentes pour le sujet, qui sont généralement répétées, consolidées, renforcées.

Ces mécanismes de plasticité sur lesquels nous allons revenir sont à l'œuvre en particulier dans la pratique musicale. Nous examinerons comment cette plasticité se manifeste chez les musiciens professionnels.

Comment étudier la plasticité cérébrale ?

Il existe plusieurs façons d'étudier la plasticité cérébrale. On peut suivre le développement de l'enfant, en même temps que les changements cérébraux reliés à l'âge et à l'expérience, la pratique musicale, qui nous intéresse ici. Une deuxième méthode consiste à comparer le fonctionnement du cerveau de deux groupes, un dit expert, c'est-à-dire des musiciens, et un

groupe de contrôle (des non-musiciens). Enfin, troisième façon d'étudier la plasticité, on observe comment le cerveau se réorganise à la suite d'un traumatisme crânien, d'un accident vasculaire cérébral ou encore d'une surdité acquise à la suite d'une maladie. Ces différentes méthodes font appel à l'imagerie cérébrale, mais aussi à différents tests validés. Ainsi, pour étudier la perception musicale, on peut suivre l'évolution de la perception des sons avec l'âge ou comparer cette perception entre des musiciens et des non-musiciens. Abordons plus précisément notre sujet : comment la musique agit-elle sur la plasticité cérébrale ?

Que signifie être musicien ?

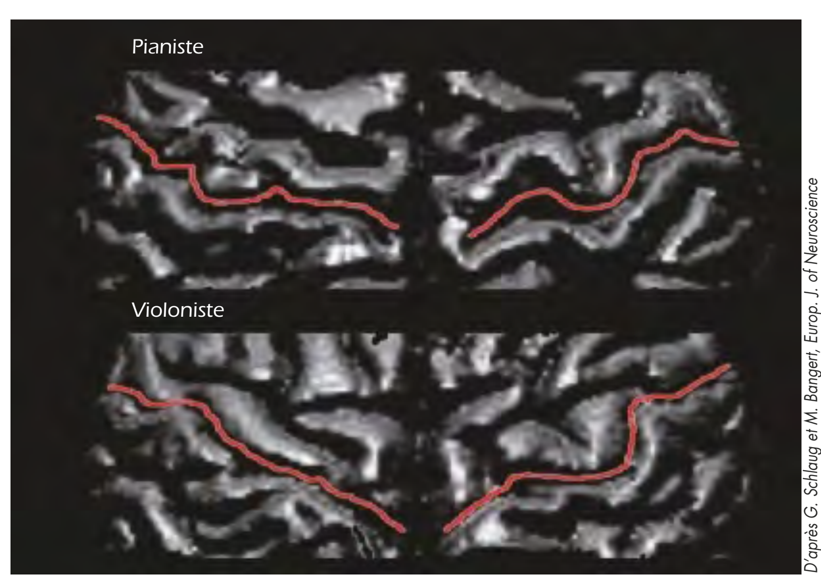
Chacun (ou presque) sait reconnaître une chanson, la chanter et en ressentir des émotions. Être musicien est une tout autre affaire ! La quantité d'heures passées à jouer d'un instrument – souvent plus de 1 000 heures par an – caractérise le musicien. Il commence souvent très jeune – entre cinq et dix ans –, ce qui fait qu'un jeune adulte âgé de 20 ans peut avoir déjà 10 000 heures de pratique instrumentale à

1. À mesure que le pianiste ou le violoniste accumule les heures d'entraînement, son cerveau est modifié par les mécanismes en jeu dans la plasticité cérébrale. L'expertise musicale est directement liée à l'âge où l'enfant commence à apprendre à jouer d'un instrument et à l'intensité de la pratique. Même s'il existe une prédisposition génétique, les diverses études montrent que la pratique est le facteur dominant.



Svemir / Shutterstock

Blazej Lyjak / Shutterstock



D'après G. Schlaug et M. Bangert, Europ. J. of Neuroscience

2. Au fil des heures d'entraînement, la densité de neurones et le nombre de synapses augmentent dans une zone du cortex, dite de la main, des instrumentistes. Cette augmentation se traduit par un accroissement des plis corticaux. Celui de la main forme une lettre oméga (Ω) inversée *(surlignée en rouge)*. Cet Ω est plus marqué chez les instrumentistes que chez les non-musiciens. Qui plus est, il est augmenté de façon symétrique (dans les deux hémisphères) chez le pianiste *(en haut)*. Au contraire, chez le violoniste, si cette augmentation est visible, c'est seulement dans le cortex moteur droit, celui qui commande la main gauche *(en bas à droite)*.

son actif. Imaginez-vous dans une salle de concert. Une jeune violoniste va jouer les *Partitas* de Jean-Sébastien Bach. Le silence se fait. La violoniste se concentre... Son geste est d'une grande précision. L'archet se fait prolongement du bras, la main gauche se met en place, tendue, solide et souple, les épaules et les bras sont détendus, le dos se cambre légèrement. La coordination entre le dos, le bras, les poignets et les doigts est parfaite. Le son est clair, précis, doux, fluide. Une telle maîtrise trahit des années de pratique. Cette pratique imprime-t-elle sa marque dans le cerveau ? L'imagerie cérébrale apporte des réponses à cette question. Voyons lesquelles.

Un pianiste professionnel peut jouer plus de 1 000 notes par minute, avec une précision spatiale et temporelle sans faille. Cette expertise repose sur une modification des substrats neuronaux sous-jacents, c'est-à-dire des aires cérébrales impliquées dans ce geste réalisé sur la bonne touche, au bon moment. Or l'imagerie révèle que, dans le cortex moteur, l'aire correspondant aux mouvements de la main est plus développée chez les pianistes que chez des sujets contrôles. Qui plus est, alors que chez les pianistes les deux mains nécessitent un contrôle moteur fin des doigts, chez les violonistes l'utilisation des deux mains est asymétrique : la main gauche doit réaliser des mouvements très rapides et précis, tandis que la main droite, qui tient l'archet, réalise des mouvements plus lents. Gottfried Schlaug et ses collègues de la Faculté de médecine Harvard ont récemment comparé l'anatomie du cortex moteur de pianistes, de violonistes et de non-musiciens. Ils ont constaté une augmentation du volume du cortex dans les zones qui commandent le mouvement des doigts et de la main.

Des modifications de structure

Cette augmentation de volume dans un volume fixe (le crâne) se traduit par un renforcement des plis du cortex. Or l'aire de la main peut évoquer la lettre grecque oméga, Ω *(voir la figure 2)*. L'imagerie révèle que ce signe oméga est plus développé chez les musiciens que chez les non-musiciens. Qui plus est, cette augmentation est visible dans le cortex moteur gauche et dans le droit chez les pianistes, alors qu'elle est visible seulement dans le cortex moteur droit (qui contrôle la main gauche) chez les violonistes. Ainsi, l'ampleur du signe oméga peut être interprétée comme mesure indirecte du volume de l'aire de la main ; la marque va d'un oméga à peine visible à un oméga bien visible, voire à un double oméga.

Ce résultat illustre les modifications de structure (ou de morphologie) qu'entraîne la plasticité cérébrale chez le musicien. Elles représentent l'un des deux principaux types de changements. Quand un groupe de neurones est très sollicité, ici ceux qui commandent les mains et les doigts, des neurones adjacents sont appelés en « renfort ». De nouveaux neurones peuvent même apparaître par un mécanisme de neurogenèse, de sorte que la zone impliquée dans la tâche augmente.

Ces modifications au sein du cortex moteur existent aussi au sein du cortex somatosensoriel, celui qui, par exemple, nous permet, quand nous avons les yeux fermés, de reconnaître la forme et la texture d'un objet. On étudie l'activation du cortex somatosensoriel en stimulant les doigts les uns après les autres avec des trains de vibrations. La réponse cérébrale déclenchée par de telles stimulations est plus importante chez les musiciens que chez les non-musiciens et plus ample à droite (correspondant à la main gauche, rappelons-le) pour les violonistes. Cela indique une sensibilité tactile accrue chez les musiciens.

Si le contrôle moteur est d'une importance extrême pour les musiciens professionnels, la coordination des processus sensoriels et moteurs des doigts et des mains est également primordiale. La coordination des mains nécessite une

transmission d'informations massive d'un hémisphère à l'autre, puisque chaque main est contrôlée par l'hémisphère controlatéral. Diverses études ont mis en évidence que le volume des fibres qui connectent les deux hémisphères chez les musiciens est supérieur à celui observé chez les non-musiciens au niveau d'une structure nommée le corps calleux, qui sert aux deux hémisphères à communiquer.

Cette modification de structure a des conséquences sur le plan fonctionnel : davantage de fibres connectant les deux hémisphères permettent un transit plus rapide de l'information entre les deux cortex moteurs, ce qui est indispensable pour bien coordonner les mouvements des deux mains. Par ailleurs, le renforcement des connexions interhémisphériques s'accompagne d'une réduction de l'inhibition des aires motrices des mains. Souvent, quand on accomplit un geste (on écrit, on tient sa fourchette, etc.), on privilégie l'une des deux mains, l'autre étant quasiment au repos (elle est inhibée). Au contraire, chez les instrumentistes, les deux mains sont nécessaires, et l'inhibition qu'exerce normalement une main sur l'autre est levée. Cela refléterait l'indépendance du contrôle des mains acquis par les instrumentistes.

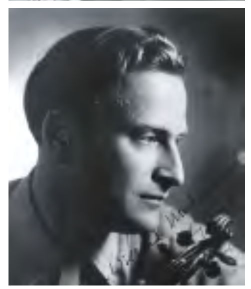
Des modifications de fonction

Outre ces modifications de la structure des aires cérébrales soumises à un entraînement soutenu, il apparaît également des modifications de fonction dues à la plasticité cérébrale. Des mesures directes de l'activité neuronale ont mis en évidence que l'intensité de cette activité due aux sons du piano est plus importante (d'environ 25 pour cent) chez les pianistes que chez un groupe de sujets contrôles qui ne jouent d'aucun instrument. Ces modifications des représentations des sons dans le cortex sont très sensibles à l'instrument joué par le musicien. Chez un violoniste, l'activité corticale déclenchée par le son d'un violon est bien supérieure à celle déclenchée par le son d'une trompette (c'est le contraire chez le trompettiste). Cette sensibilité au timbre serait due, d'une part, à la plus grande familiarité qu'un musicien a avec le son de son propre instrument et, d'autre part, à l'attention qu'il porte à la qualité du son produit. Cet exemple illustre la deuxième face de la plasticité induite par la musique : les modifications fonctionnelles. En effet, chez le musicien professionnel, les populations de neurones très sollicités se réorganisent et deviennent plus efficaces. La sensibilité au son de l'instrument pratiqué augmente notablement.

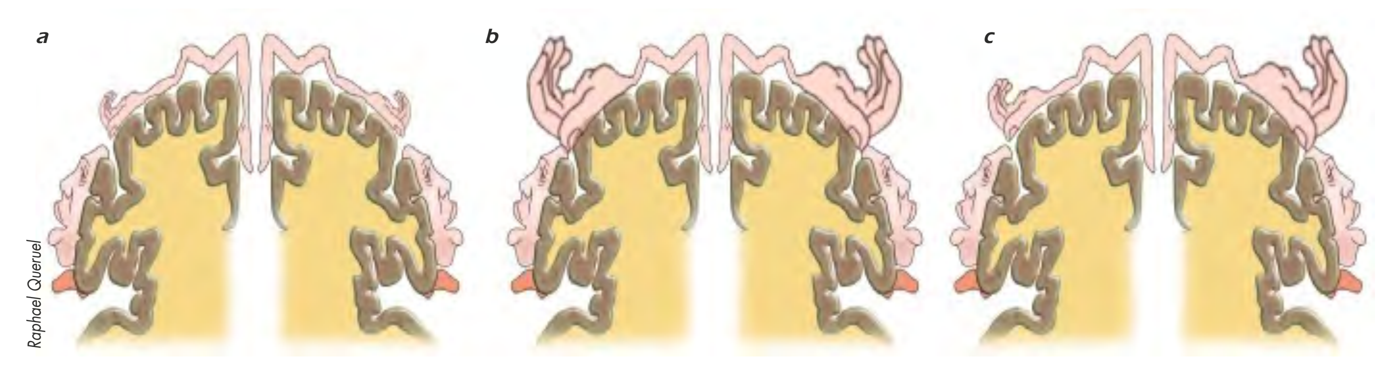
Ces différences structurelles et fonctionnelles sont étroitement liées. Ainsi, les musiciens ont plus de substance grise (reflétant la quantité de neurones) que les non-musiciens dans une région (la partie antérieure du gyrus de Heschl) qui correspond à l'aire auditive primaire, la première étape du traitement du son dans le cortex, après son traitement par le système auditif sous-cortical. Le gyrus de Heschl présente une asymétrie due à la stratégie d'écoute des musiciens : ceux qui prêtent plus attention à la hauteur tonale (justesse) présentent un gyrus de Heschl plus développé à gauche qu'à droite, mais c'est l'inverse chez les musiciens qui font plus attention au timbre. Le fait qu'une caractéristique anatomique du système auditif dépende de la stratégie adoptée par les musiciens pour traiter les sons illustre parfaitement la plasticité du système et l'étroite relation qui lie la structure et la fonction.

Nous avons énuméré diverses manifestations de la plasticité cérébrale chez le musicien. Si elle est si performante, chacun pourrait-il devenir Arthur Rubinstein ou Yehudi Menuhin ? Ces deux maîtres étaient-ils « doués » ou ont-ils





3. Vous ne deviendrez sans doute ni Arthur Rubinstein *(en haut en1960)* ni Yehudi Menuhin *(en bas en 1954)*, mais un entraînement intensif vous fera atteindre un bon niveau, même si vous commencez tard !



4. Le cortex moteur et somatosensoriel peut être divisé en zones dites de la main, de la jambe, etc. Sur ce modèle d'homonculus, on a représenté la répartition des aires chez le non-musicien *(a)*, chez le pianiste *(b)* et chez le violoniste *(c)*. Chez le pianiste, les aires de la main sont plus grandes que chez le non-musicien, dans les deux hémisphères. Chez le violoniste, seule l'aire de la main de l'hémisphère droit qui commande la main gauche est supérieure. Cette représentation schématique illustre l'un des effets de la plasticité cérébrale chez le musicien.

acquis leur art à force de travailler ? La conception innée de l'expertise musicale est encore ancrée dans notre façon de penser. Les modifications du cortex exposées précédemment sont-elles le résultat d'une pratique intensive de la musique, ou simplement de prédispositions génétiques ? Sans vouloir nier l'importance du patrimoine génétique (il ne suffit pas d'étudier la composition pour devenir Bach ou Mozart), la plupart des résultats confirment l'importance de la pratique.

Question de gènes ou d'apprentissage ?

Il existe un lien très fort entre l'ampleur des modifications cérébrales observées, l'âge auquel l'enfant commence à apprendre un instrument et le nombre d'années de pratique. On montre que plus l'enfant commence à jouer tôt et plus la pratique est longue, plus le cerveau se modifie. Certes, une corrélation n'est pas synonyme de causalité. En d'autres termes, on pourrait défendre que la relation existe, sans que les modifications observées ne résultent de la durée de la pratique ou de l'âge où l'enfant commence. Pour lever cette objection, des chercheurs ont choisi au hasard une population, ont observé la taille et l'activité d'une aire particulièrement sollicitée chez un violoniste, par exemple, et observé l'évolution de cette aire au fil de l'apprentissage. Ce type d'études a mis en évidence des modifications fonctionnelles et structurales au bout d'un an de pratique musicale simplement. Le débat est enfin clos : s'il existe certainement des prédispositions génétiques à la musique, la pratique musicale suffit à modifier le fonctionnement d'un cerveau normal.

Ainsi, la pratique musicale agit sur les circuits cérébraux impliqués dans la musique, ce qui permet aux musiciens de traiter plus efficacement le son. Ces modifications sont-elles spécifiques du traitement de la musique ou sont-elles transférables à d'autres domaines, le langage, par exemple ? Musique et langage partagent plusieurs caractéristiques tant au plan acoustique qu'au plan cognitif. Au niveau acoustique, musique et langage utilisent la hauteur tonale, le timbre et une structure temporelle précise pour véhiculer l'information. Sur le plan cognitif, musique et langage nécessitent des compétences mnésiques et attentionnelles similaires, mais aussi la capacité d'intégrer des événements dans une structure temporelle, tout en prenant en compte des règles « syntaxiques », c'est-à-dire une grammaire. Les musi-

Le côté sombre de la plasticité : la dystonie focale

La dystonie focale chez le musicien est aussi connue sous le nom de crampe du musicien et touche environ un pour cent des musiciens professionnels. Il s'agit d'un déficit moteur spécifique, caractérisé par un manque de coordination ou une perte du contrôle moteur volontaire lorsque le musicien joue de son instrument. Les musiciens qui souffrent de dystonie focale sont souvent contraints d'arrêter leur carrière pour cette raison. Par sa ressemblance avec une crampe, ce trouble est souvent diagnostiqué comme ayant sa source au niveau des muscles ou des tendons de la main. Or nous savons que la pratique musicale modifie la représentation des doigts de la main dans le cortex sensorimoteur. Serait-il possible qu'une pratique trop intensive, chez les musiciens perfectionnistes ou anxieux, aboutisse à une « plasticité catastrophique » ?

Alors que dans le cortex sensorimoteur la représentation de chaque doigt est normalement distincte de celle des autres doigts, le surentraînement musical qui fait « grossir » la taille de la représentation des doigts risque-t-il d'aboutir à des superpositions de ces représentations ? Si de tels recouvrements sont importants ne risquent-ils pas de brouiller les représentations des doigts ? Si tel est le cas, une commande destinée à l'index ferait systématiquement bouger le médian, avec un effet catastrophique sur la performance.


Jean-Michel Thiriet

En effet, la dystonie focale se manifeste par une perte de la coordination musculaire et une contraction simultanée de muscles antagonistes, ce qui aboutit à une paralysie, qui se manifeste par une « crampe ». Peut-on « désapprendre » au système sensoriel et moteur ces représentations erronées et réapprendre les représentations correctes ?

Plusieurs équipes étudient cette possibilité, qui passe souvent par un abandon temporaire de la pratique virtuose, et par un retour à une pratique lente et consciencieuse. Ainsi, on peut supposer que les représentations des doigts « maigriront » et que chaque doigt retrouvera un territoire cortical qui lui sera propre.



5. La plasticité cérébrale fait intervenir plusieurs mécanismes qui ont été schématisés ici : partant d'un neurone *(a)*, on constate une multiplication des synapses ou connexions entre neurones *(b)*, une multiplication des neurones *(c)*, ou un allongement des prolongements neuronaux, ou axones *(d)*, ce qui permet de connecter des zones qui ne l'étaient pas avant que la plasticité n'agisse.

ciens identifient mieux que les non-musiciens les petites modifications de l'intonation de la voix. Après seulement un an de pratique musicale, les enfants améliorent ce type de compétence. Mais l'amélioration de la performance ne concerne pas tous les signaux sonores, seuls les plus pertinents sont mieux traités. Ainsi, quand il entend un cri de bébé, un musicien discrimine mieux la partie du signal la plus spécifique, ce qui lui donne plus d'informations sur l'état émotionnel du nourrisson. Enfin l'expertise musicale influe sur les différents paramètres qui assurent la compréhension des mots *(voir l'article de Diana Deutsch)*.

Comment mettre en pratique tous ces résultats ?

On ignore si l'apprentissage et la pratique musicale ont des effets bénéfiques dans la vie quotidienne des musiciens. Certaines études ont montré qu'ils apprennent plus facilement une nouvelle langue étrangère. Par ailleurs, les enfants qui ont joué d'un instrument ont une meilleure représentation de l'intonation de leur langue, un vocabulaire plus riche, lisent mieux et apprennent eux aussi plus facilement une langue étrangère. L'apprentissage de la musique facilite aussi la perception de la parole dans le bruit, tâche qui requiert notamment de savoir discriminer différentes sources sonores et d'avoir une bonne attention sélective. Ainsi, chez les musiciens, l'aire de Broca, qui joue un rôle essentiel dans le traitement du langage, contient une plus grande quantité de substance grise que chez les non-musiciens (ce qui, rappelons-le, suggère qu'il y a davantage de neurones). On constate aussi que la substance grise diminue moins avec l'âge chez les musiciens que chez les non-musiciens.

Les études comparant des musiciens à des non-musiciens ont mis en évidence quatre facteurs favorisant la plasticité reliée à l'expertise musicale : l'âge du début de l'apprentissage, le nombre d'années de pratique ininterrompue, le nombre d'heures de pratique et le plaisir lié à l'apprentissage. S'il n'est pas déterminant, l'âge de début est important, le cerveau étant plus ou moins réceptif, certaines périodes étant plus favorables que d'autres pour l'acquisition de telle ou telle fonction (la marche vers un an, le langage vers deux ans, etc.). Le nombre d'années de pratique sans interruption et la quantité de la pratique sont liés, mais les bénéfices de la musique se manifestent aussi quand on commence à apprendre après l'enfance. L'attitude face à l'apprentissage joue un rôle important. Yehudi Menuhin, l'un des plus grands violonistes du XXe siècle, confiait qu'il eut des difficultés à apprendre à jouer du violon, mais qu'il adorait cela, qu'il était fasciné par cet instrument et que cela l'a motivé, dès son plus jeune âge, dans sa pratique intensive, attentive et joyeuse.

Ainsi, l'apprentissage de la musique n'apporte que des avantages. Et encore, nous n'avons évoqué ici que la capacité de jouer d'un instrument. Ce faisant, nous avons passé sous silence les aspects socioculturels liés à la pratique instrumentale : on joue avec d'autres, on joue pour soi, mais aussi pour les autres. Par ailleurs, la pratique musicale développe des capacités cognitives et perceptives non spécifiquement musicales *(voir l'article d'Emmanuel Bigand)*. Tous ces résultats devraient inciter le monde de l'éducation à accorder un rôle beaucoup plus important à l'enseignement de la musique. La musique devrait cesser d'être une discipline négligée dans le cursus scolaire. Sans bouleverser les emplois du temps des élèves et à peu de frais, on pourrait favoriser cette activité sociale et ludique qui, en même temps qu'elle crée des millions de nouvelles connexions dans le cerveau, renforce les liens (et des liens de qualité) entre les hommes. ■

Bibliographie

E. Altenmüller et H. Jabusch, *Focal dystonia in musicians : phenomenology, pathophysiology and triggering factors*, in *Eur. J. Neurol.*, vol. 17, pp. 31-6, 2010.

N. Kraus et B. Chandrasekaran, *Music training for the development of auditory skills*, in *Nature Neuroscience*, vol. 11, pp. 599-605, 2010.

K. Hyde et al., *Musical training shapes structural brain development*, in *J. Neurosci.*, vol. 29, pp. 3019-25, 2009.

C. Pantev et al., *Auditory-somatosensory integration and cortical plasticity in musical training*, in *Ann. N. Y. Acad. Sci.*, vol. 1169, pp. 143-50, 2009.

S. Moreno et al., *Musical training influences linguistic abilities in 8-year-old children : more evidence for brain plasticity*, in *Cereb. Cortex*, vol. 19, pp. 712-23, 2008.

La mémoire musicale

Hervé Platel, est professeur de neuropsychologie au Laboratoire INSERM U923, à l'Université de Caen.
Mathilde Groussard est postdoctorante dans ce laboratoire.

La mémoire musicale partage de nombreuses aires cérébrales avec la mémoire des mots. Mais elle est plus robuste, résistant même chez les personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer.

En Bref

- La mémoire musicale partage avec la mémoire des mots des réseaux cérébraux de l'hémisphère gauche.
- La mémoire musicale engage les deux hémisphères.
- Les aires droites seraient responsables des représentations perceptives et émotionnelles ; les gauches des mots et des souvenirs épisodiques associés à une œuvre.
- Cette double représentation expliquerait pourquoi les personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer restent sensibles à la musique.

Le 7 août 2008, le *Daily Telegraph* publie un fait divers tout à fait extraordinaire : dans un hôpital britannique, Sam Carter, boulanger à la retraite âgé d'une soixantaine d'années, était plongé dans le coma depuis plusieurs jours. Alors que les médecins estimaient qu'il avait une chance sur trois de sortir du coma, ils ont néanmoins conseillé à sa femme de lui faire écouter la radio locale toute la journée. Trois jours plus tard, il se réveillait tout à coup en entendant *Satisfaction* des Rolling Stones. C'était le premier disque qu'il avait acheté en 1965. Réveillé, il expliqua que cette chanson lui avait rappelé son adolescence, redonné de l'énergie, et fait prendre conscience qu'il y avait encore de la vie en lui. Son cas n'est pas isolé : en juin 2006, en Angleterre également, une petite fille était sortie du coma en entendant son tube favori, *You're beautiful*, de James Blunt. Toujours en Angleterre (est-ce lié au climat ?) en 2009, une adolescente sortit du coma en chantant une de ses chansons préférées, *Mama Mia* du groupe ABBA.

Ces exemples illustrent, d'une part, que le souvenir musical implique plusieurs facettes de chaque individu, notamment sociale et émotionnelle et, d'autre part, que la perception d'une musique constitue une « madeleine » puissante, ayant le pouvoir de réactiver des souvenirs lointains.

La mémoire musicale a-t-elle des caractéristiques particulières ? La question suscite bien des débats. Alors que les traces mnésiques des odeurs représentent un domaine relativement homogène et bien défini, même si les mécanismes de la perception des odeurs ne sont pas totalement élucidés et même si la coloration émotionnelle qui leur est associée joue un rôle notable, la situation est… bien plus complexe pour les sons musicaux ! La musique représente des perceptions extrêmement variées, voire hétérogènes, et ne constitue qu'une forme parmi d'autres des « souvenirs » auditifs. Dans les exemples de réveil de coma évoqués, il ne s'agit d'ailleurs pas du souvenir de musiques instrumentales seules, mais de chansons, où intervient la mémoire du langage, notamment celle du sens des mots…

Paroles ou musique

Par ailleurs, certains patients ayant une lésion cérébrale peuvent perdre sélectivement la mémoire des mots ou de la musique, ce qui plaide pour une indépendance de la mémoire musicale et de la mémoire linguistique. Et c'est bien là l'enjeu du débat : la mémoire musicale est-elle ou non liée à la mémoire des mots ou du sens ? Nous examinerons les différentes pièces portées au dossier, et verrons que les neuroscientifiques spécialistes de l'étude des liens entre musique et cerveau pensent aujourd'hui qu'il existe des aires communes à la mémoire de la musique et des mots, mais que l'activation de ces aires diffère d'un hémisphère à l'autre selon

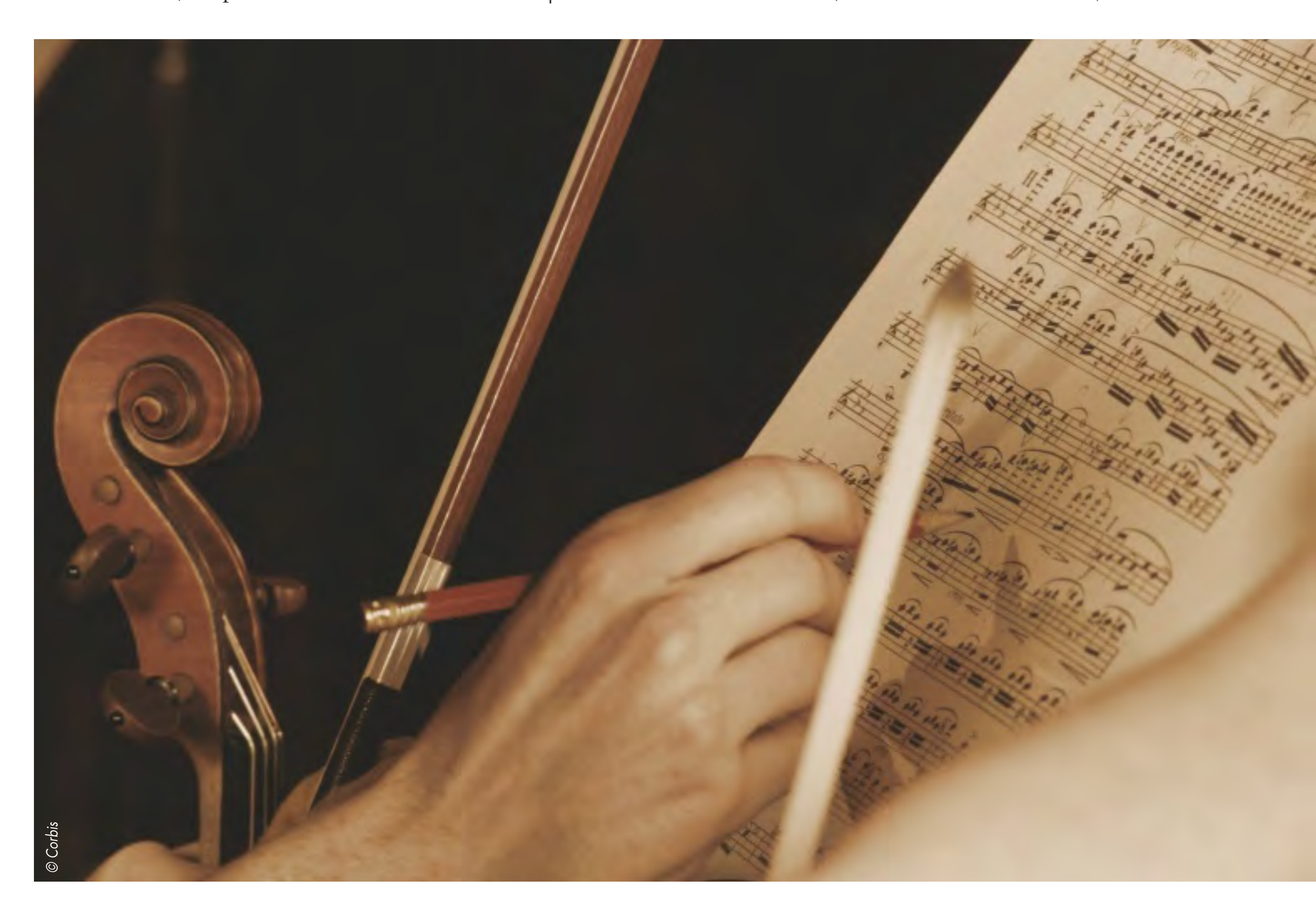
la tâche : l'hémisphère gauche est celui du langage, et de la connaissance de la musique (on sait nommer une œuvre), tandis que le droit est celui de la perception de la musique (on reconnaît la mélodie).

Curieusement, cette question de la mémoire musicale et de sa spécificité n'a pas fait l'objet de beaucoup de travaux en psychologie expérimentale, lesquels sont longtemps restés centrés sur la dimension psycho-acoustique et sur les aspects élémentaires de la perception musicale. Ce sont les neurosciences cliniques et expérimentales qui, depuis quelques années, en se fondant sur des modèles cognitifs de la mémoire humaine, apportent de nouveaux éléments à la question de la mémoire musicale.

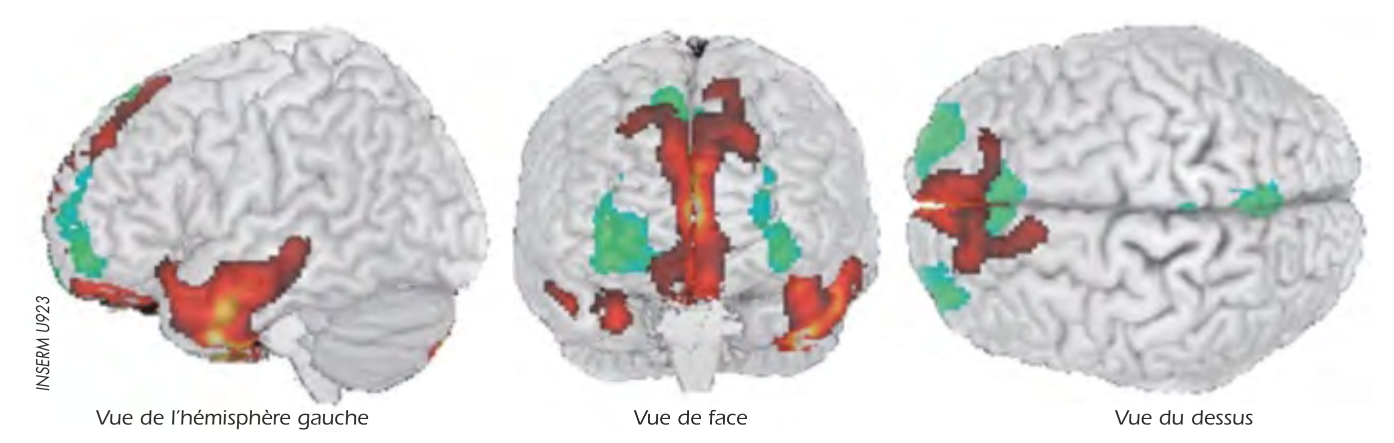
Deux types de mémoires musicales

La capacité d'une personne à identifier des extraits musicaux connus est un moyen classique d'évaluation de la mémoire musicale, qui renvoie au concept de mémoire sémantique musicale. Rappelons qu'il existe plusieurs types de mémoires (indépendamment de la musique) : la mémoire procédurale, celle qui nous permet de nous souvenir sans même y penser comment faire du vélo ; la mémoire épisodique, celle qui nous permet d'associer à un souvenir des circonstances particulières ; la mémoire sémantique, celle qui donne un sens aux mots et aux souvenirs.

Nous verrons qu'il existe une mémoire sémantique musicale et une mémoire épisodique musicale, qui ont des points communs avec les mémoires sémantiques verbale et épisodique, mais aussi des spécificités. Tout d'abord, la mémoire sémantique musicale fait appel à un « sentiment de familiarité » – le sujet reconnaît un extrait musical, mais sans pouvoir y apposer une étiquette verbale précisant l'auteur, le titre ou les paroles s'il s'agit de chansons. Cela permet une représentation mentale de la musique, sous la forme d'un air qu'il peut fredonner. De surcroît, la mémoire musicale implique une étape d'identification, permettant de définir plus précisément l'œuvre entendue. Cette distinction attribue deux facettes à la mémoire musicale : une représentation non verbale (le sentiment de familiarité) et une représentation verbale (l'identification du morceau).


© Corbis

1. Les musiciens, de par leur pratique, acquièrent une expertise perceptive et motrice, une mémoire à court terme (la mémoire dite de travail), mais également une mémoire à long terme très performantes.



2. Activations cérébrales lors d'une tâche de mémoire sémantique musicale *(en rouge)*, où l'on demande aux sujets s'ils ont déjà entendu une œuvre, et d'une tâche de mémoire épisodique musicale *(en vert)*, où ils doivent dire dans quelles circonstances ils l'ont entendue. Bien que les sujets de l'expérience traitent les mêmes stimulus musicaux, il n'existe quasiment pas d'aires communes à ces deux réseaux cérébraux. Cela montre que le fait d'identifier une musique n'implique pas les circuits cérébraux activés quand il faut se souvenir dans quel contexte on a déjà entendu une musique particulière.

Trois petites notes
de musique
Ont plié boutique
Au creux du souv'nir
C'en est fini d'leur
tapage
Elles tournent la page
Et s'en vont dormir
Mais un jour sans
crier gare
Elles vous reviennent
en mémoire
Toi, tu voulais oublier
Un p'tit air galvaudé
Dans les rues de l'été
La la la la la Toi
Tu n'oublieras jamais
Une rue un été
Une fille qui fredonnait...

Paroles : Henri Colpi,
Musique :
Georges Delerue, 1961

Dans les deux cas, des informations contextuelles concernant les conditions d'acquisition peuvent éventuellement être rappelées (on se souvient, par exemple, du moment, du lieu ou des circonstances particulières de la première ou de la dernière écoute d'un air). Si de telles informations sont présentes, on parlera plutôt de représentations mnésiques épisodiques. Cette mémoire épisodique musicale peut être en rapport avec des souvenirs contextuels autobiographiques précis. Par exemple : « J'étais en voiture à 16 h 35 hier, arrêté au feu tricolore devant l'hôpital, lorsque j'ai entendu cet air de musique à la radio. »

Ainsi, en référence à la distinction classique entre mémoire sémantique et épisodique proposée par le psychologue canadien Endel Tulving, nous faisons la distinction entre la mémoire sémantique musicale, contenant toutes les perceptions musicales préalablement mémorisées sans accès au contexte de leur acquisition, et la mémoire épisodique musicale nous permettant de nous souvenir dans quel contexte précis le souvenir de ces extraits musicaux a été acquis.

Afin d'étudier expérimentalement ces deux types de mémoire musicale (sémantique et épisodique), nous avons réalisé en 2003 une étude de neuro-imagerie chez des hommes jeunes, droitiers et non-musiciens. Pour ce faire, nous avons utilisé des suites de sons : lors de la première phase de cette étude de la mémoire sémantique musicale, les sujets devaient indiquer en appuyant sur un bouton si chacune des mélodies qu'on leur faisait entendre leur était familière ou non. La moitié des stimulus correspondait à des mélodies sélectionnées parce qu'elles sont très connues et « familières », l'autre moitié des stimulus correspondait à des mélodies déclarées « inconnues ». Les musiques familières sont celles que l'on connaît sans pouvoir nécessairement y mettre une étiquette (une toccata de Bach, une symphonie de Beethoven, etc.). Quelques minutes plus tard, on testait la mémoire épisodique : on proposait soit des mélodies familières, soit des mélodies non familières, et les sujets devaient dire s'ils les avaient déjà entendues lors de la première phase (que les mélodies soient familières ou non).

Un réseau spécifique du lexique musical ?

Les sujets devaient ainsi traiter les mêmes mélodies dans les deux tâches de mémoire. Pourtant, le simple fait de devoir se souvenir s'ils avaient ou non entendu telle ou telle mélodie quelques minutes auparavant – c'est-à-dire de remettre en contexte l'information musicale dans une épreuve testant la mémoire épisodique musicale – entraîne une activation d'aires cérébrales totalement différentes impliquées dans la tâche sémantique *(voir la figure 2)*. Ces profils d'activité cérébrale ressemblent à ceux que l'on obtient lors des tâches évaluant la mémoire épisodique d'images ou de mots, et ne semblent pas spécifiques de la mémoire musicale. En revanche, la tâche sémantique musicale produit des activations bilatérales de diverses régions cérébrales (frontales médianes, gyrus angulaire de l'hémisphère gauche et gyri temporaux moyens et supérieurs), qui paraissaient plus spécifiques (nous y reviendrons).

Dès 1994, Isabelle Peretz et ses collègues de l'Université de Montréal, en se fondant sur des observations cliniques, ont proposé un modèle de reconnaissance de la musique suggérant que le « lexique verbal » est indépendant du « lexique musical ». Le « lexique musical » correspond,

dans ce modèle, à l'ensemble des souvenirs perceptifs de toutes les pièces musicales entendues par le sujet depuis sa naissance. Ainsi, selon l'équipe canadienne, il existerait un lexique musical « pur », indépendant des connaissances linguistiques. Dans ce modèle, la « reconnaissance » d'un air musical correspondrait seulement à l'activation de ce lexique musical pur, produisant le sentiment de familiarité (nous savons que nous avons déjà entendu cette mélodie). En revanche, toujours dans ce modèle, la capacité d'identification d'un air nécessiterait d'associer des connaissances verbales aux représentations perceptives (je sais qu'il s'agit de la cinquième symphonie de Beethoven).

Une méta-analyse publiée en 2006 par Lauren Stewart et ses collègues de l'Université de Newcastle a montré que les principales régions cérébrales permettant l'identification musicale sont localisées dans les deux hémisphères, et se situent notamment dans le gyrus temporal supérieur et, plus précisément dans la partie antérieure du lobe temporal. Or on sait d'après les études cliniques et de neuro-imagerie que l'aire la plus cruciale pour l'accès à la mémoire sémantique et aux concepts est la partie antérieure du lobe temporal, en particulier de l'hémisphère gauche. Ainsi – et nous développerons plusieurs résultats confirmant cette observation –, la partie antérieure (ou pôle) du lobe temporal serait le siège de la mémoire sémantique et notamment de la mémoire musicale, avec (nous y reviendrons) des différences quant à la prédominance de l'hémisphère concerné.

Comme quelques observations cliniques indiquent que certains patients peuvent souffrir de troubles de la mémoire verbale sans atteinte de la mémoire musicale, et inversement, on peut envisager l'existence de représentations musicales à long terme autonomes des représentations verbales. Toutefois, on sait que de nombreux patients présentent, après des lésions temporales, des déficits tant de la mémoire verbale que de la mémoire musicale, et que les déficits décrits sont hétérogènes.

Ainsi, certains patients ne reconnaissent pas une mélodie parce qu'ils ne récupèrent pas les traces perceptives (ils ont perdu le sentiment de familiarité), d'autres parce qu'ils ne parviennent plus à mettre une étiquette linguistique (un nom) en relation avec cette trace perceptive (ils ont conservé le sentiment de familiarité, mais ne peuvent associer un nom ou un auteur à l'œuvre). Ces deux niveaux de la mémoire musicale peuvent sans doute être altérés séparément sans que les cliniciens ayant rapporté ces observations ne l'aient clairement constaté.

Les enregistrements électroencéphalographiques qui reflètent l'activité électrique du cerveau peuvent-ils nous aider à distinguer si le déficit vient de la composante musicale ou de la composante linguistique associée à une œuvre musicale ? À Marseille, Mireille Besson et ses collègues ont été les premiers à comparer les effets du langage et de la musique sur un tel enregistrement. Ils ont proposé à des sujets musiciens d'écouter des extraits d'opéra dont le dernier mot ou la dernière note était soit celle qu'on attendait, soit incongrue. Les enregistrements ont révélé des tracés différents selon qu'il s'agissait d'une incongruité mélodique ou d'une incongruité verbale.

Un unique réseau de familiarité perceptive

Ces résultats suggèrent la mise en jeu de processus distincts dans le traitement de certains aspects sémantiques de la musique et du langage. En revanche, en faisant une analogie entre la syntaxe du langage et l'organisation de l'harmonie musicale, également nommée grammaire musicale, certains travaux ont mis en évidence des similarités de traitement de la musique et du langage.

À l'Université Lyon 1, Jane Plailly et ses collègues ont étudié en 2007, par IRM fonctionnelle, le sentiment de familiarité pour des odeurs et des mélodies entendues (24 considérées comme familières et 24 comme non familières) chez des sujets ayant reçu un faible enseignement musical (moins de quatre ans). Les mélodies choisies

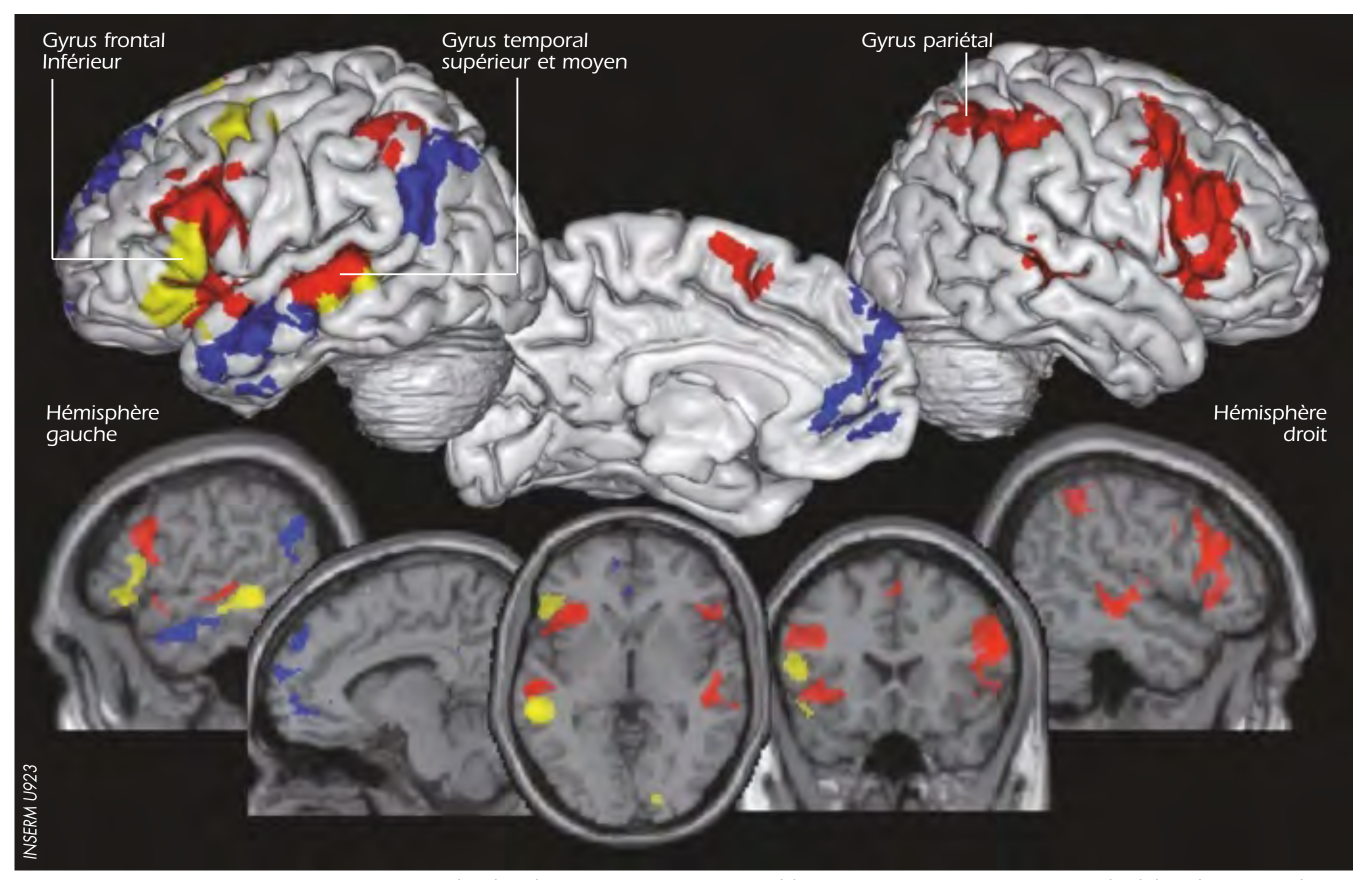
3. Les musiciens ont une mémoire épisodique performante, car, en plus des œuvres, ils mémorisent les circonstances dans lesquelles ils les ont interprétées et y associent beaucoup de détails contextuels, par exemple le fait d'avoir joué telle œuvre dans cette cathédrale.


Rui Ferreira / Shutterstock

sont des musiques strictement instrumentales. Leur travail montre qu'il existe un même réseau cérébral qui s'active lorsqu'on éprouve un sentiment de familiarité, quel que soit le stimulus auquel on est exposé : mots, images, odeurs, sons non musicaux ou musicaux. Ce réseau implique principalement des régions de l'hémisphère gauche (gyrus frontal inférieur et supérieur, precuneus, gyrus angulaire et régions de l'hippocampe). Ce réseau d'activation correspond en partie à celui activé lorsque la mémoire sémantique est en jeu.

Par deux méthodes de neuro-imagerie (tomographie par émission de positons et IRM fonctionnelle), nous avons étudié les bases neuronales de la mémoire sémantique musicale chez des sujets non musiciens. Dans l'étude initiale datant de 1997, nous demandions au sujet de dire si le morceau proposé était familier ou non, ce qui impliquait de rechercher l'information dans sa mémoire sémantique musicale. Durant cette tâche, nous avons observé les activations de l'hémisphère gauche dans les régions frontales inférieures et temporales supérieures. Quelques années plus tard, nous avons montré qu'il existe un réseau pour la mémoire sémantique et un autre, distinct, dédié à la mémoire épisodique musicale. Durant les tâches sémantiques, les régions temporales moyennes et supérieures gauches étaient également activées.

Nous avons également comparé directement plusieurs épreuves de mémoire sémantique verbale et musicale. Dans une tâche dite de « congruence musicale », le sujet entendait le début d'un air musical très familier (même pour des sujets non musiciens) suivi par un *bip* et un court silence, puis on diffusait la suite de l'air ou une suite issue d'une autre mélodie familière. Le sujet devait indiquer si la suite de la mélodie était correcte ou non ; si la suite est correcte, on dit qu'elle est congruente avec le début de la mélodie. Une tâche de congruence verbale était conçue sur le modèle de la tâche de congruence musicale, mais les mélodies étaient remplacées par des proverbes très connus, dont la fin proposée était soit attendue, soit incongrue. On proposait, par exemple, « Pierre qui roule… » et soit « n'amasse pas mousse » (suite



4. Les aires cérébrales activées par une tâche dite de congruence musicale ou verbale diffèrent. Lors de la tâche musicale *(aires activées en rouge)*, on fait écouter aux sujets une mélodie familière, on l'arrête et on leur demande de dire si la suite qu'on leur propose alors est la bonne ou non. Lors de l'épreuve de congruence verbale *(aires activées en bleu)*, on propose aux participants le début d'un proverbe ou d'une expression familière, et on demande si la suite proposée est la bonne ou non. Ainsi, il existe de nombreuses zones activées par l'une ou l'autre de ces tâches, mais certaines régions sont activées tant par la musique que par le langage *(en jaune)*.

attendue), soit « à la fin elle se casse » (suite incongrue issue du proverbe « Tant va la cruche à l'eau qu'à la fin elle se casse »).

Certaines aires activées par ces tâches sont communes pour les deux types de matériel, mais il existe aussi des régions plus spécifiquement engagées dans le traitement sémantique musical ou le traitement sémantique verbal *(voir la figure 4)*. Les activations les plus spécifiques de la tâche musicale sont celles du gyrus temporal supérieur et du gyrus frontal inférieur. Ces activations bilatérales, et le rôle crucial du gyrus temporal supérieur – associés à la mémoire sémantique musicale – se retrouvent quand nous proposons aux sujets de réaliser une autre tâche dite de jugement de familiarité musicale, où les participants doivent juger sur une échelle en quatre points leur niveau de familiarité avec d'autres mélodies plus ou moins connues (1-Je ne connais pas, 2-J'ai peut-être déjà entendu, 3-Je connais, mais ne peux pas donner de titre ni de compositeur, 4-Je connais et je peux donner un titre et un compositeur).

Des réseaux identiques pour la musique et le langage ?

Ainsi, nous mettons en évidence l'implication de régions cérébrales identiques pour la mémoire des mots et la mémoire musicale. On sait que le langage active plutôt les aires de l'hémisphère gauche. En ce qui concerne la musique, elle active les mêmes aires dans les deux hémisphères, auxquelles s'ajoutent certaines régions de l'hémisphère gauche. Pourtant, les extraits musicaux choisis étaient uniquement instrumentaux et n'étaient pas associés à des paroles ni à des contextes épisodiques précis, telle *La marche nuptiale*. Mais il est possible qu'une partie de ces activations de l'hémisphère gauche reflète un processus de verbalisation (on chante « dans sa tête »), ou d'associations verbales irrépressibles.

Ainsi, les travaux de neuro-imagerie cérébrale ne mettent pas en évidence de réseau neuronal spécifique de la mémoire sémantique musicale, mais montrent plutôt que les aires du langage et de la musique se recouvrent largement au sein de l'hémisphère gauche. Nous pensons que la spécificité fonctionnelle de la mémoire sémantique musicale ne tient pas tant à l'activité isolée d'une région déterminée, qu'à la conjonction de l'activité de deux grands réseaux neuronaux, l'un situé dans l'hémisphère droit et l'autre dans l'hémisphère gauche, correspondant aux différentes facettes de la mémoire sémantique musicale.



© Richard H. Cohen / Corbis

5. La mémoire musicale est organisée un peu comme les rayons d'une grande surface du disque : les airs mémorisés sont regroupés, classés, hiérarchisés. Le prix pourrait même être comparé à la valeur émotionnelle qu'on leur accorde.

Compte tenu de ces résultats, nous proposons deux définitions du concept de la mémoire sémantique musicale : une que nous nommons restreinte et l'autre élargie. La définition restreinte correspond à celle du lexique musical proposée par I. Peretz et ses collègues, c'est-à-dire aux représentations perceptives que nous avons des morceaux déjà entendus. Nous pensons que ces représentations perceptives s'organisent les unes par rapport aux autres, se regroupent, se hiérarchisent. Par exemple, on peut supposer que les airs joués par un orchestre symphonique constitueront la catégorie du répertoire classique distincte du répertoire de la musique pop. Les airs du répertoire classique peuvent eux-mêmes être répartis selon leur style (baroque, romantique, etc.). Ainsi, même en l'absence d'étiquettes verbales, on les rapproche, les associe, les classe selon leurs caractéristiques perceptives, ce qui finit par créer un lexique mental non verbal de représentations musicales. Cet aspect perceptif de la musique serait traité par l'hémisphère droit.

À côté de cette définition restreinte, la mémoire sémantique musicale « élargie » correspondrait à la possibilité d'associer à ces représentations structurales des étiquettes verbales. C'est ce qu'apprennent à faire les musiciens qui mettent des mots sur les œuvres et les formes musicales. À ces étiquettes verbales, s'ajoutent également – que l'on soit musicien ou non – des connaissances personnelles autobiographiques. Ce dernier point nous semble particulièrement important, car il serait au cœur de l'organisation de nos connaissances musicales : l'organisation des connaissances musicales repose, comme pour les visages, sur l'intérêt personnel que chaque

œuvre musicale représente pour chaque auditeur, les émotions associées à ces œuvres étant sans doute une des principales variables utilisées pour cette classification.

Nous confirmons ici ce que nous avons déjà évoqué : selon l'aspect de la mémoire musicale mis en jeu, c'est plutôt le réseau de l'hémisphère gauche ou celui de l'hémisphère droit qui est activé. Les connaissances perceptives seraient sous la dépendance des régions temporales et préfrontales droites, alors que les connaissances dites associatives, c'est-à-dire linguistiques et autobiographiques, seraient sous la dominance des régions homologues gauches. Cette caractéristique de la mémoire musicale lui conférerait sa force par rapport aux connaissances strictement verbales : quand les aires du langage gauches sont lésées, les aires homologues droites ne compensent pas le déficit. En revanche, quand les aires de la mémoire musicale gauches sont lésées, on perd la capacité de nommer l'œuvre, mais on peut continuer à percevoir et à mémoriser la musique. Ce caractère spécifique expliquerait pourquoi certaines personnes atteintes de troubles de la mémoire conservent en grande partie leurs connaissances musicales.

Quand les mots s'en vont et que la musique demeure

On observe cette persistance des connaissances musicales notamment chez les personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer. En maison de retraite, le personnel soignant sait bien que faire chanter des personnes âgées saines, ou celles qui présentent des déficits cognitifs, est une activité facile à mettre en œuvre et à laquelle ces personnes participent très volontiers. Nombre de cliniciens ont constaté que les personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer se souviennent très longtemps des chansons apprises quand elles étaient jeunes (enfant ou jeune adulte). Une des raisons invoquées pour expliquer cette rétention à long terme des chansons serait que la musique est associée aux émotions.

Ainsi, la capacité à distinguer les airs musicaux et à leur attribuer une « couleur émotionnelle » ne semble pas sensible aux effets du vieillissement et de la démence. En revanche, les études réalisées sur les personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer suggèrent une altération précoce des capacités d'associations verbales (les aires du langage sont lésées) concernant les connaissances musicales, alors que les traces perceptives (indépendantes des aires du langage) résistent.

Lors des expériences que nous avons réalisées en collaboration avec Odile Letortu, médecin dans l'Unité de vie Alzheimer de la maison de retraite *Les Pervenches*, à Biéville-Beuville, dans le Calvados, nous avons observé une capacité de familiarisation pour du matériel musical nouveau (correspondant à des extraits de musiques instrumentales) chez les personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer à un stade modéré, voire avancé. De plus, le sentiment de familiarité pour la musique est plus fort que pour du matériel linguistique nouveau (enregistrements audio d'histoires ou de poèmes courts).

Un sentiment de familiarité persistant

Plus précisément, quand on fait écouter à ces personnes des extraits musicaux ou linguistiques au cours de séances répétées et ce pendant huit jours, on constate une augmentation notable du sentiment de familiarité entre la première et la dernière séance d'exposition. Quand on introduit parmi les extraits répétés un nouvel extrait, les patients présentent un sentiment de familiarité plus fort pour les extraits répétés que pour les extraits nouveaux. De telles expériences sont réalisées tant avec des extraits musicaux qu'avec des textes. Quand on étudie la force du souvenir laissé par ces extraits nouveaux deux mois et demi plus tard, on constate que seuls les extraits musicaux suscitent encore un fort sentiment de familiarité (qui ne s'atténue pas), alors que le niveau de familiarité avec les extraits linguistiques diminue notablement.

Ainsi, plus de deux mois après avoir été exposés à ces stimulus sonores nouveaux, les patients sont encore capables d'exprimer un sentiment de familiarité et de dire qu'ils connaissent certaines des musiques entendues. En revanche, ce n'est pas le cas avec des mots. Ces observations plaident en faveur d'un système de mémoire à long terme musical distinct, et confirment la préservation étonnante de ces représentations musicales chez les patients atteints de la maladie d'Alzheimer. Bien qu'on ignore pourquoi la mémoire musicale est épargnée chez ces patients, ces travaux cliniques confirment l'intérêt des stimulations par la musique chez ces personnes *(voir l'article de Simone Dalla Bella)*.

Si la mémoire décline chez certaines personnes âgées, certains interprètes ou chefs d'orchestres ont, parfois malgré un âge honorable, une extraordinaire mémoire musicale. Existe-t-il des liens entre l'expertise musicale et la mémoire ? Le fait d'apprendre de nombreuses partitions par cœur a-t-il un effet particulier sur l'organisation et le fonctionnement de la mémoire des musiciens ?

Bibliographie

M. Groussard et al., *When music and long-term memory interact : effects of musical expertise on functional and structural plasticity in the hippocampus*, in *PlosOne*, vol. 5(10), e13225, 2010.

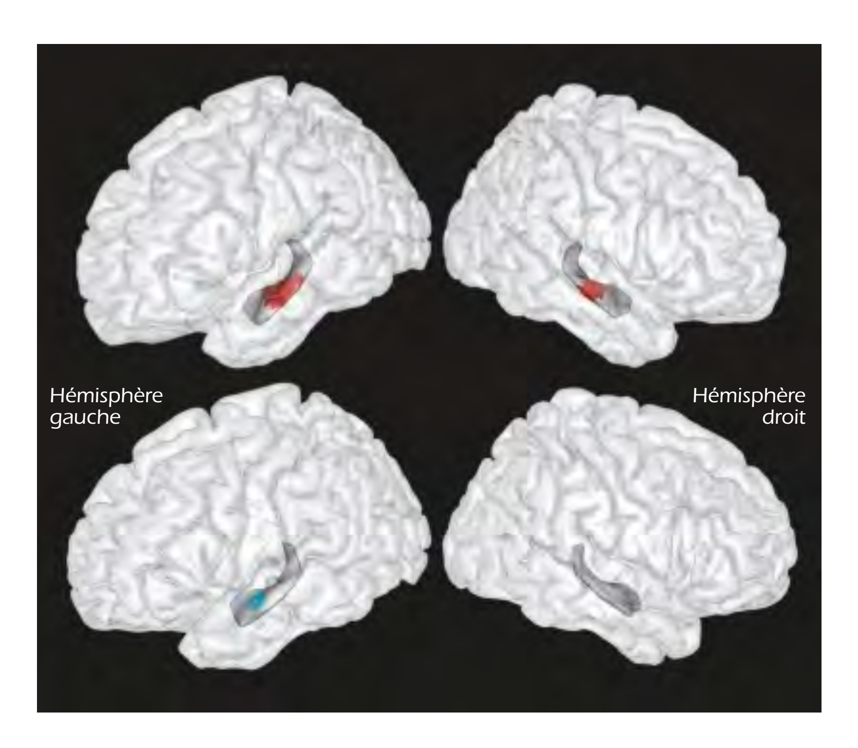
M. Groussard et al., *Musical and verbal semantic memory : Two distinct neural networks ?*, in *NeuroImage*, vol. 49, pp. 2 764-73, 2010.

M. Groussard et al., *The neural substrates of musical memory revealed by fMRI and two semantic tasks*, in *NeuroImage*, vol. 53, pp. 1 301-09, 2010.

S. Samson et al., *Emotional power of music in patients with memory disorders : clinical implications of cognitive neuroscience*, in *Ann. N. Y. Acad. Sci.*, vol. 1169, pp. 245-55, 2009.

H. Platel et al., *Semantic and episodic memory of music are subserved by distinct neural networks*, in *NeuroImage*, vol. 20, pp. 244-256, 2003.

6. L'hippocampe joue un rôle notable dans la mémoire, notamment épisodique. Quand on fait écouter à des musiciens des extraits musicaux, l'activité de leur hippocampe augmente beaucoup plus que chez les non-musiciens *(la différence d'activité entre ces deux groupes apparaît en rouge).* Cette suractivation reflète leur familiarité avec ces œuvres. On constate également sur ces IRM une densité supérieure de neurones *(en bleu, en bas).* Ces résultats montrent que ces aires sont particulièrement sollicitées chez les musiciens, qui mettent en contexte, en tant qu'experts, leurs connaissances musicales et des épisodes de leur vie.



D'un point de vue neuronal, les musiciens professionnels développent, par leur apprentissage musical, des compétences particulières qui se traduisent par des connexions et des interactions spécifiques de différentes aires cérébrales, faisant de cette population un modèle unique et particulièrement intéressant pour étudier la plasticité du cerveau humain. L'effet de l'expertise musicale a ainsi été étudié d'un point de vue perceptif, moteur, somatosensoriel, ou pour la mémoire de travail, mais jamais pour évaluer les processus de récupération en mémoire à long terme, capacité pourtant indiscutablement impliquée dans la pratique musicale.

Une prodigieuse mémoire musicale

Au moyen d'une épreuve de familiarité musicale proposée à 20 sujets musiciens et 20 non musiciens jeunes, nous avons montré qu'il existe évidemment un réseau cérébral commun aux musiciens et aux non-musiciens. En revanche, nous avons observé des activations plus importantes chez les sujets musiciens dans l'hippocampe, une aire essentielle dans la mémoire, ainsi que dans les régions occipitales, orbito-frontales, le gyrus cingulaire moyen et la partie supérieure du gyrus temporal de façon bilatérale.

Or on sait que ce réseau cérébral activé ici par une tâche de jugement de familiarité musicale est également activé par les tâches de mémoire épisodique. Quelle peut être l'explication de cette activation inattendue ? En raison de leur pratique musicale régulière, les musiciens stockent dans leur mémoire sémantique davantage de mélodies que les non-musiciens. D'après les musiciens eux-mêmes avec qui nous avons commenté leurs performances après les examens IRM, les mélodies considérées comme très familières seraient associées davantage à des détails contextuels et des souvenirs personnels (par exemple, c'est une mélodie jouée lors d'un concert à Paris alors qu'il avait neigé, ou étudiée en cours de solfège) que chez les sujets non musiciens. Ainsi, les régions cérébrales plus activées chez les musiciens semblent refléter la remémoration de détails perceptifs et contextuels et celle des images mentales déclenchées par l'écoute des mélodies très familières.

Qu'en est-il au niveau de la structure du cerveau, c'est-à-dire de la densité des neurones ou de la substance grise ? Nous avons montré que l'hippocampe présente des caractéristiques particulières chez les musiciens experts *(voir la figure 6).* Ainsi, en plus d'une activation bilatérale (avec une prédominance gauche) plus intense de l'hippocampe, les musiciens ont une densité de neurones plus importante dans la partie antérieure de l'hippocampe gauche que les non-musiciens. Cette différence structurale observée dans l'hippocampe, région dévolue aux processus mnésiques, notamment épisodiques, suggère un développement particulier de cette structure lors de l'apprentissage musical.

Ce résultat nouveau confirme que pratiquer la musique stimule les circuits neuronaux de la mémoire et suggère que la pratique musicale serait un stimulant qui permettrait de lutter contre les effets du vieillissement cérébral ; c'est aussi ce que suggèrent diverses études épidémiologiques, montrant que les sujets âgés ayant une pratique musicale ont moins de risques de présenter une pathologie neurodégénérative. L'expérience musicale est particulièrement riche parce qu'elle combine des informations sensorielles, mnésiques, émotionnelles et motrices, qui produisent dans notre cerveau une « symphonie » neuronale unique et persistante. ■

La musique qui soigne

Depuis quelques années, on utilise la musique à des fins thérapeutiques : elle aide à retrouver l'usage de la parole après un accident vasculaire cérébral ou à réapprendre à marcher.

Simone Dalla Bella, est neuropsychologue au Département de psychologie cognitive de l'Université de finance et de gestion, à Varsovie, en Pologne, et au Laboratoire international de recherche sur le cerveau, la musique et le son (BRAMS), à Montréal, au Canada.

En Bref

- Grâce à une méthode fondée sur le chant rythmé, des personnes victimes d'un accident vasculaire cérébral recommencent à parler.
- Des personnes atteintes de la maladie de Parkinson peuvent marcher à nouveau en synchronisant leurs mouvements sur un rythme qu'on leur impose.
- Les personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer repèrent les fausses notes dans les chansons qu'elles connaissent.

La musique est omniprésente. Chanter, percevoir, produire de la musique sont des activités aussi naturelles pour l'être humain que parler. Et produire de la musique (chantée ou instrumentale) est une activité presque aussi complexe que comprendre ou produire des paroles. Pourtant, alors qu'il existe des aires cérébrales bien définies qui traitent le langage (tant la compréhension que la production), il n'existe pas un « centre cérébral » de la musique : la musique active un réseau complexe d'aires cérébrales. Ce qui explique qu'elle influe sur de nombreuses fonctions, cognitives et mnésiques, ou encore sur le langage. La musique stimule diverses compétences chez celui qui la pratique, elle améliore l'humeur, elle est un lien social.

Peut-elle être utilisée pour soigner ? Pas simplement pour modifier l'humeur, mais pour soulager des personnes souffrant de maladies organiques ? Les cliniciens ont observé depuis longtemps que certains patients victimes d'un accident vasculaire cérébral ont des difficultés pour prononcer les mots, mais qu'en revanche, ils parviennent à les chanter correctement. De même, ils avaient observé, dans les années 1940, que des personnes atteintes de la maladie de Parkinson, qui handicape notablement la marche, parviennent à se déplacer plus facilement si on diffuse une musique rythmée. Dernier exemple, on sait que les personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer à un stade avancé continuent à chanter.

De toutes ces constatations cliniques, est née l'idée que la musique pourrait être utile à de nombreux malades. Aujourd'hui, il y a encore peu d'études sur la puissance thérapeutique de la musique, mais des résultats intéressants ont été obtenus. Nous examinerons ces résultats dans le cas des trois pathologies que nous venons de citer.

Musique et accidents vasculaires cérébraux

Les accidents vasculaires cérébraux touchent environ 150 000 personnes chaque année en France. Ils font deux fois plus de victimes que les accidents de la route et représentent la troisième cause de mortalité en France après le cancer et les maladies cardio-vasculaires. Lors d'un accident vasculaire cérébral, un vaisseau sanguin se bouche ou se rompt, de sorte que les tissus situés à proximité ne reçoivent plus d'oxygène et se nécrosent. C'est pourquoi, après un accident vasculaire cérébral, le sujet présente souvent des séquelles, des troubles moteurs (une paralysie généralement d'un côté du corps, ou hémiplégie) et des troubles du langage (une aphasie). On estime qu'entre 25 et 50 pour cent des victimes d'un accident vasculaire cérébral souffrent d'aphasie une semaine après l'événement.

Le déficit neurologique dépend de la localisation de la lésion cérébrale. Certains patients sont atteints d'aphasie. Ils ne prononcent plus que des phrases courtes, utilisant des mots simples et une syntaxe simplifiée ; le débit est lent, ils hésitent et parler leur demande un effort considérable. En revanche, ils comprennent bien le sens des mots et des phrases. Ce type d'aphasie dite non fluente résulte d'une lésion cérébrale localisée dans l'aire de Broca, dans la région frontale de l'hémisphère gauche du cerveau. On la nomme souvent aphasie de Broca.

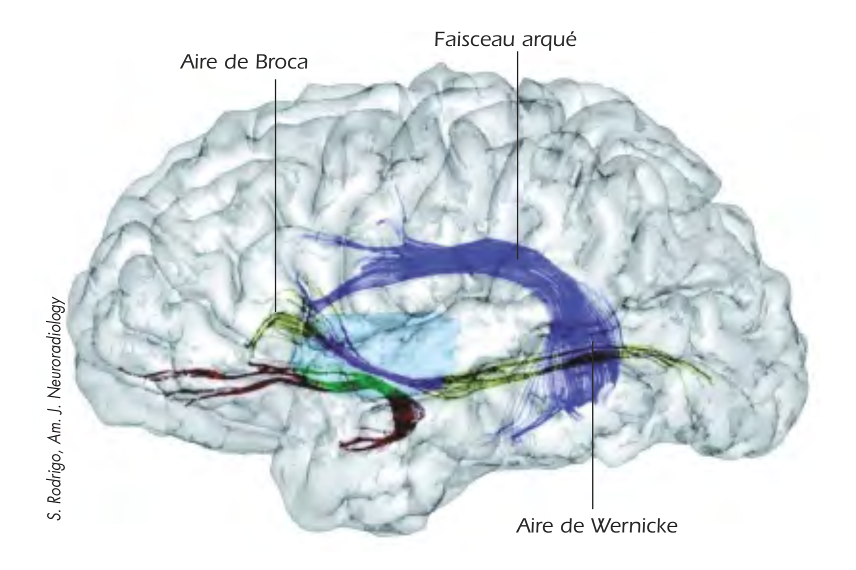
Aujourd'hui les médecins sont relativement démunis pour aider ces patients à retrouver l'usage de la parole. Or, en 1973, les neuroscientifiques américains M. Albert et N. Sparks ont mis au point une méthode permettant à des patients aphasiques de reparler après un accident vasculaire cérébral. Leur méthode, la thérapie mélodique et rythmée (en anglais, *Melodic Intonation Therapy*), est fondée sur la musique : les patients parviennent à prononcer correctement les mots en s'aidant de la musique et du rythme. Cette méthode, mise au point en anglais, a été transposée à diverses langues, notamment au français sous l'impulsion de l'orthophoniste Philippe Van Eeckhout.

En quoi consiste la thérapie mélodique et rythmée ? Elle repose sur les caractéristiques mélodiques de la langue (l'intonation, l'accentuation et le rythme) qui améliorent la production de la parole. Le patient doit d'abord apprendre à écouter et à reproduire des rythmes. Puis il doit écouter et apprendre à fredonner des mélodies (ce qu'il sait faire malgré son aphasie). Les mélodies sont constituées de notes alternativement graves et aiguës. Le sujet doit frapper sur la table à chaque note pour marquer



1. La pratique d'un instrument et le chant ralentissent les processus de vieillissement chez les personnes âgées atteintes de la maladie d'Alzheimer.

© Pascal Deloche / Godong / Corbis



2. Certaines zones ou connexions cérébrales sont modifiées par la thérapie mélodique et rythmée utilisée chez des personnes présentant une aphasie de Broca après un accident vasculaire cérébral. Ainsi, on observe une augmentation du volume des fibres du faisceau arqué *(en bleu foncé)* sur cette image obtenue par IRM de diffusion. Cette structure cérébrale connecte l'aire de Broca impliquée dans la production de la parole et l'aire de Wernicke qui intervient dans la compréhension. La méthode fait apparaître d'autres faisceaux de fibres, mais ils n'interviennent pas dans la rééducation de ces patients.

Musique et rééducation cognitive et émotionnelle

En 2004, le neuropsychologue Teppo Särkämö, et ses collègues, du Centre de recherche sur le cerveau à Helsinki, en Finlande, ont montré pour la première fois qu'écouter régulièrement de la musique aide les personnes victimes d'un accident vasculaire cérébral à récupérer un fonctionnement émotionnel et cognitif normal. Pour ce faire, ils ont suivi 60 personnes, présentant une lésion cérébrale, localisée soit dans l'hémisphère gauche, soit dans l'hémisphère droit. Ils les ont réparties aléatoirement dans trois groupes : le groupe « musique », le groupe « langage » et le groupe de contrôle. Pendant deux mois, les sujets du groupe « musique » devaient écouter au moins une heure par jour, chez eux ou à l'hôpital, leurs morceaux de musique préférés (tous les genres musicaux étaient représentés). Les sujets du groupe « langage » devaient écouter des livres audio. Dans le groupe contrôle, les sujets n'écoutaient rien. Tous les sujets bénéficiaient par ailleurs de la même prise en charge médicale.

Après ces deux mois, les patients devaient répondre à une série de tests visant à évaluer aussi bien leurs capacités cognitives et émotionnelles que leur qualité de vie. Par exemple, ils devaient mémoriser des histoires, des listes de mots ou de chiffres, recopier des figures géométriques, ou indiquer si deux mélodies étaient identiques ou différentes. T. Särkämö et ses collègues ont montré que, chez les sujets du groupe « musique », la mémoire verbale était notablement supérieure à celle des sujets du groupe « langage » ou du groupe témoin. Leur capacité d'attention était également meilleure. De surcroît, les sujets qui avaient écouté de la musique présentaient moins de signes de dépression et de confusion que les sujets du groupe de contrôle. Les signes de l'amélioration de l'humeur étaient encore présents six mois après la fin de l'essai (les effets n'ont pas été testés au-delà de cette durée). Cette étude a montré, pour la première fois, que la musique favorise la rééducation cognitive et émotionnelle d'individus présentant des lésions cérébrales.

le rythme. La longueur et la complexité de ces mélodies augmentent progressivement. Le thérapeute s'assure que le sujet a bien assimilé une étape avant de passer à la suivante. Quand le sujet a assimilé les exercices non verbaux, le thérapeute introduit des mots. Le patient doit reproduire lentement des phrases courtes construites avec des mots simples. Il utilise les informations musicales et rythmiques intériorisées pour réapprendre à produire des mots respectant la prosodie naturelle du langage parlé.

Comment cette méthode améliore-t-elle l'expression ? Quelles sont les régions du cerveau impliquées ? Récemment, le neurobiologiste Gottfried Schlaug et ses collègues du Laboratoire de musique et neuro-imagerie de l'École de médecine Harvard, aux États-Unis, ont observé les structures cérébrales modifiées par la thérapie mélodique et rythmée. Ils ont utilisé la technique d'imagerie par tenseur de diffusion, ou IRM de diffusion. Elle donne la position et l'orientation des faisceaux d'axones, les prolongements neuronaux constituant les fibres qui relient les différentes aires cérébrales, et qui constituent ce que l'on nomme la substance blanche. Ils ont porté leur attention sur le faisceau arqué, un ensemble d'axones reliant les aires de Broca (dans le cortex frontal) et les aires de Wernicke (dans le cortex temporal). L'aire de Broca est impliquée dans l'articulation et la production de la parole ; l'aire de Wernicke, dans la compréhension de la parole *(voir la figure 2)*.

Au cours de cette étude, ils ont suivi par IRM de diffusion six patients souffrant d'une grave aphasie de Broca un an après un accident vasculaire cérébral. Ils ont observé leur cerveau avant le début d'une thérapie mélodique et rythmée, et après plusieurs séances pratiquées à un rythme soutenu (environ 70 à 80 sessions d'une heure et demie chacune, cinq fois par semaine). G. Schlaug et ses collègues ont montré, chez tous les sujets testés, que le nombre de fibres

dans le faisceau arqué de l'hémisphère droit augmente au bout de quatre mois de traitement. Une cinquantaine de nouvelles fibres sont produites. Les auteurs attribuent l'augmentation du volume du faisceau arqué à la plasticité cérébrale. Elle induirait une augmentation de la gaine de myéline qui entoure les axones des neurones et une croissance des axones (la gaine de myéline est indispensable à la bonne conduction des signaux nerveux). Ainsi, l'augmentation de la connectivité dans l'hémisphère droit compenserait les déficits des lésions cérébrales localisées dans l'hémisphère gauche.

Le faisceau arqué connectant les aires cérébrales dédiées à la perception de la parole et les aires motrices nécessaires pour sa production, il semble que le renforcement de ce lien par la thérapie mélodique et rythmée joue un rôle important dans la récupération de la parole.

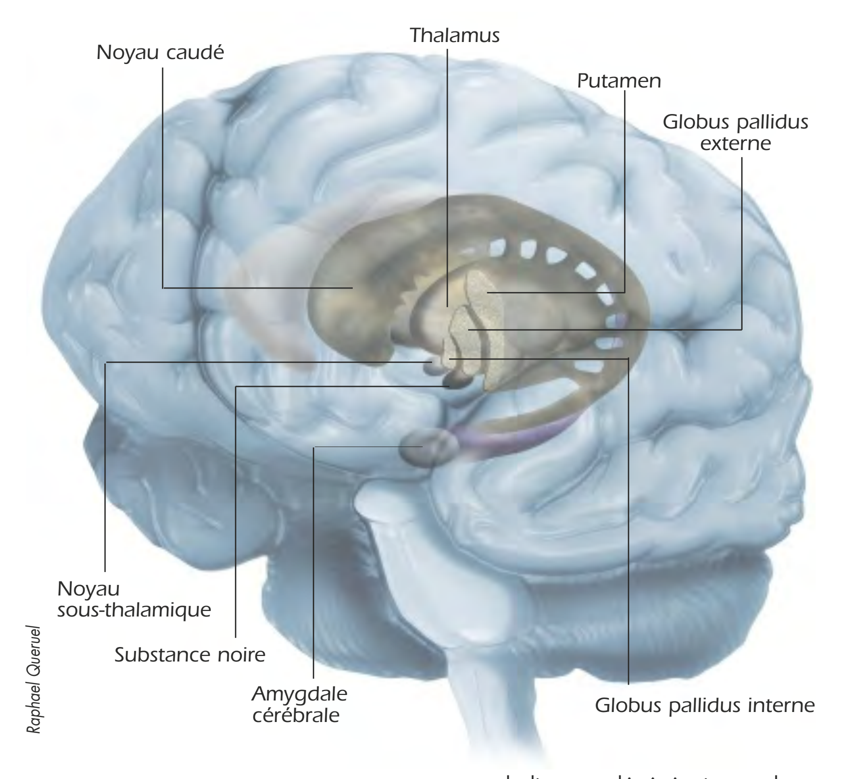
La musique pour marcher

Abordons maintenant les bienfaits de la musique chez les personnes atteintes de la maladie de Parkinson. C'est une maladie neurodégénérative qui touche près de 100 000 personnes (environ un million aux États-Unis), et on compte près de 8 000 nouveaux cas chaque année en France. Les principaux symptômes de la maladie de Parkinson sont des tremblements au repos, la lenteur pour amorcer les mouvements (akinésie) visible lorsque le sujet se lève de sa chaise pour se mettre à marcher. On observe aussi un ralentissement quand il s'agit d'exécuter des mouvements volontaires (bradykinésie). À ces symptômes s'ajoute une rigidité musculaire qui rend la marche difficile. Les malades marchent très lentement, à petits pas, les bras immobiles. Parfois, ils s'arrêtent de marcher. Ces difficultés sont si grandes que les personnes atteintes de cette maladie finissent par limiter leurs déplacements, et leur qualité de vie s'en ressent.

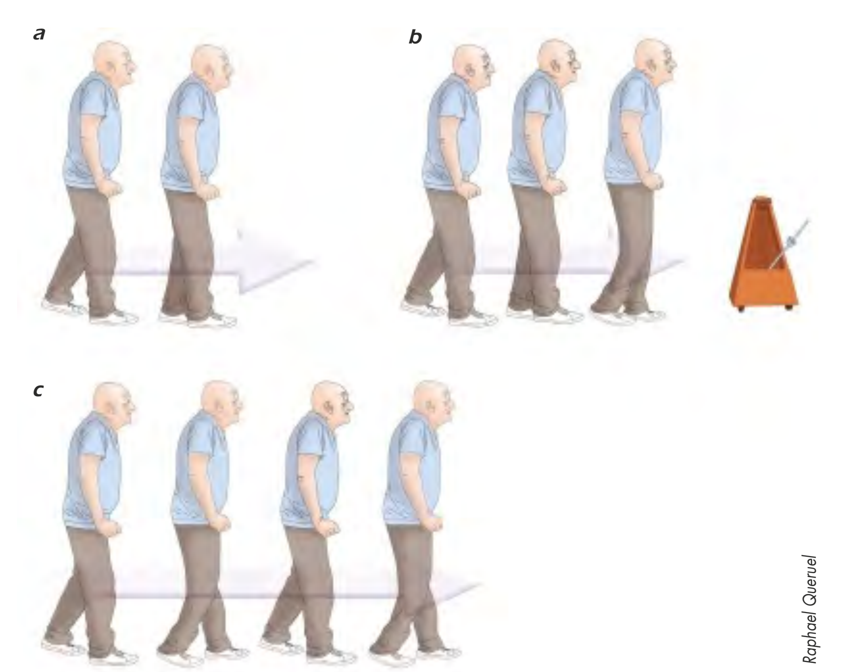
La maladie résulte d'un dysfonctionnement de structures cérébrales nommées les noyaux gris centraux qui se trouvent dans les structures sous-corticales *(voir la figure 3)*. On constate qu'un de ces noyaux, la substance noire, dégénère. Cette structure contient des neurones produisant de la dopamine, un neurotransmetteur indispensable – notamment – au mouvement. Un traitement, la L-Dopa, pallie, souvent temporairement, ce déficit en libérant de la dopamine dans le cerveau. Mais il n'est pas dépourvu d'effets secondaires et les neurologues cherchent d'autres façons d'aider ces personnes à surmonter les conséquences de leur maladie. C'est là que la musique intervient.

Une méthode qui a fait ses preuves est la méthode d'indiçage auditif. On fait entendre au sujet des stimulus rythmiques (par exemple, un son bref – « clic » – répété ou de la musique rythmée) pendant qu'il marche. Quand on choisit correctement la fréquence de ces sons ou le tempo de la musique, on constate que le sujet synchronise son mouvement. On note des améliorations notables sur la vitesse de marche, la longueur de l'enjambée. La marche est plus naturelle, plus régulière.

On connaît les bienfaits des méthodes d'indiçage auditif depuis les années 1940, mais les premières analyses systématiques ont été conduites seulement à partir des années 1960. En 1997, le neuroscientifique Michael Thaut, et ses collègues, à l'Université d'État du Colorado, aux États-Unis, ont étudié l'effet de l'indiçage auditif sur la marche de trois groupes de sujets : 21 personnes atteintes de la maladie de Parkinson sous traitement médicamenteux, dix sans traitement, et dix sujets âgés non parkinsoniens. Les participants de chaque groupe devaient marcher sur 30 mètres, d'abord à leur vitesse maximale sans stimulus, ensuite en présence d'un stimulus rythmique correspondant à leur vitesse maximale de marche, enfin, en présence d'un stimulus rythmique un peu plus rapide. Le



3. La maladie de Parkinson est une maladie neurodégénérative touchant les noyaux gris centraux, tels que le globus pallidus, le putamen, la substance noire et le noyau sous-thalamique, impliqués dans le contrôle et la coordination du mouvement. La maladie est liée à une perte de neurones de la substance noire.



4. Une personne atteinte de la maladie de Parkinson marche très difficilement *(a)*. Quand on lui impose de marcher en rythme (symbolisé par le métronome), on constate que ce stimulus l'aide à avancer *(b)*. Et quand le rythme imposé est plus rapide que son rythme maximal, sa marche se fait plus naturelle et plus rapide *(c)*.

rythme est toujours imposé par des clics répétés de façon régulière. Ils sont diffusés en même temps qu'un morceau de musique instrumentale de la Renaissance, qui rend l'exercice plus agréable.

M. Thaut et ses collègues ont montré que lorsque le rythme imposé est plus rapide que celui correspondant à la vitesse maximale du sujet, sa marche est améliorée quel que soit le groupe auquel il appartient. Il marche plus vite et fait de plus grandes enjambées, en cadence *(voir la figure 4)*.

Cette étude confirme que la méthode d'indiçage auditif aide efficacement les parkinsoniens à remarcher. L'effet le plus probant concerne l'augmentation de la vitesse de la marche. D'autres études devront confirmer les effets de la méthode sur d'autres paramètres (la longueur de l'enjambée, le balancement lors de la marche, etc.), ainsi que sur la qualité de vie de ces personnes. Les bienfaits de la musique sur la marche chez les parkinsoniens et sur la parole chez les aphasiques sont liés à l'une de ses propriétés fondamentales : le rythme. La stimulation rythmique semble réactiver leur système moteur.

Abordons la dernière facette de notre tour d'horizon du pouvoir thérapeutique de la musique : son influence sur la qualité de vie des personnes âgées. On constate aujourd'hui une augmentation spectaculaire de la longévité. L'espérance de vie actuelle est de 80 ans, et devrait continuer à croître d'ici 2050. La proportion de personnes âgées, égale à dix pour cent en 1998, atteindra sans doute 15 pour cent en 2025. Écouter de la musique, chanter, danser ou jouer d'un instrument pourraient-ils aider les personnes âgées à mieux vieillir ?

Améliorer la qualité de vie des personnes âgées

On sait que pratiquer régulièrement une activité (par exemple, jouer aux échecs ou jouer aux cartes) limite le déclin des capacités cognitives lié au vieillissement. La musique peut-elle améliorer la qualité de vie des personnes âgées souffrant de la maladie d'Alzheimer ? Peu d'études abordent ces questions, sur la base de nombreux témoignages de proches ou du personnel soignant, on sait que des malades apprécient la musique, même à un stade avancé de la maladie.

Récemment, la psychologue Lola Cuddy, et ses collègues, de l'Université Queen's, à Kingston, au Canada, ont réalisé une étude sur une patiente souffrant de la maladie d'Alzheimer qui présentait des troubles de la mémoire et du langage. On lui demandait, par exemple, de reconnaître des mélodies familières parmi d'autres, ou de détecter des fausses notes insérées dans les mélodies connues. On a constaté qu'elle réagissait seulement aux mélodies qui contenaient des fausses notes et exprimait son étonnement par le rire. De plus, quand l'expérimentateur prononçait les mots d'une chanson qu'elle connaissait, elle prenait le relais en chantant la suite. Les effets de la musique sont spectaculaires compte tenu des déficits cognitifs notables de cette patiente dans la plupart des domaines.

D'autres études ont révélé que certaines aptitudes musicales sont préservées chez les personnes atteintes de la maladie d'Alzheimer. Par exemple, certaines ont des difficultés à reconnaître des mélodies familières, une aptitude qui engage la mémoire explicite (ou déclarative). Pourtant, elles sont capables de jouer d'un instrument, action qui implique alors la mémoire implicite (ou procédurale).

Ces résultats sont la preuve qu'au-delà de leur aspect récréatif, l'écoute et la pratique de la musique présentent un réel potentiel thérapeutique. La musique préserve du déclin cognitif dû au vieillissement ou à la maladie d'Alzheimer. Elle améliore la qualité de vie des personnes âgées en compensant en partie leurs fonctions cognitives déficientes. Des recherches permettront de préciser les mécanismes neurobiologiques qui sous-tendent ces capacités. ■

Bibliographie

G. Schlaug et al., *Evidence for plasticity in white-matter tracts of patients with chronic Broca's aphasia undergoing intense intonation-based speech therapy*, in *Annals of the New York Academy of Sciences*, vol. 1 169, pp. 385-394, 2009.

T. Särkämö et al., *Music listening enhances cognitive recovery and mood after middle cerebral artery stroke*, in *Brain*, vol. 131, pp. 866-876, 2008.

R. Zatorre et I. Peretz, *Brain organization for music processing*, in *Annual Review of Psychology*, vol. 56, pp. 89-114, 2005.

Site de l'auteur : www.mpblab.vizja.pl

La maladie d'Alzheimer peut détruire quarante ans d'amour...



...vous avez le pouvoir de la vaincre en soutenant la recherche française.

Chaque année des milliers de familles sont victimes de la maladie d'Alzheimer.



La Ligue Européenne Contre la Maladie d'Alzheimer (LECMA) est une association française pour la recherche médicale, régie par la loi de 1901, à but non lucratif. LECMA finance des programmes de recherche visant la découverte d'un diagnostic et d'un traitement efficace de la maladie d'Alzheimer. Elle informe le grand public en organisant des actions d'information et d'éducation sur la prévention, le diagnostic et le traitement de la maladie.

Pour apporter des informations et des conseils pratiques à tous ceux qui sont ou se sentent concernés par la maladie d'Alzheimer, LECMA édite régulièrement des brochures d'information. Voici les brochures à votre disposition :

- Comprendre la maladie d'Alzheimer. Ce n'est pas seulement une question d'oubli
- Comment mieux aider les personnes qui entourent les patients : gestion du stress
- La déambulation et le patient atteint d'Alzheimer
- Prévenir la maladie d'Alzheimer : est-ce possible ?
- Conduire en toute sécurité au 3ème âge

Ces brochures sont consultables et téléchargeables sur notre site **www.maladiealzheimer.fr**
Si vous souhaitez les recevoir, contactez-nous par téléphone, par courrier ou par courriel.

➤ **Soutenez la recherche et envoyez votre don* par chèque à LECMA - 94 rue La Fayette 75010 Paris.**

* Votre don vous donne droit à une déduction fiscale de 66 % dans la limite de 20 % de votre revenu imposable.

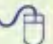


Ligue Européenne Contre la Maladie d'Alzheimer

POUR TOUTE INFORMATION

 ● appelez-nous au **01 42 46 50 86**

 ● écrivez-nous à **LECMA - 94 rue La Fayette - 75010 Paris**

 ● consultez notre site **www.maladiealzheimer.fr**

 ● envoyez-nous un courriel à **info@maladiealzheimer.fr**

La musique des mots

Diana Deutsch, est professeur de psychologie à l'Université de Californie, à San Diego, aux États-Unis.

Musique et langage interagissent étroitement dans le cerveau. Ainsi, les locuteurs de langue tonale, tel le mandarin, ont l'oreille absolue, une capacité rare dans la population générale : ils reconnaissent et chantent toutes les notes sans qu'on n'ait à leur donner le *la*.

En Bref

- Les circuits cérébraux qui traitent la musique sont en partie les mêmes que ceux de la parole.
- Les caractéristiques musicales du langage sont essentielles pour le développement du langage chez l'enfant, et pour renforcer les liens entre le nourrisson et sa mère.
- La langue maternelle influe sur la façon dont on perçoit une mélodie.

J'ai un jour découvert par hasard qu'en passant en boucle un fragment de phrase on pouvait donner l'illusion d'une mélodie. J'étais en train de terminer un exposé ; je l'enregistrai et fit passer en boucle certains extraits pour les mémoriser. Je venais de commencer à passer une phrase (« Le cerveau se comporte parfois de façon si étrange...»), puis sortis de la pièce. Quand je revins, j'ai eu l'impression qu'une femme était en train de chanter dans la pièce ! Bien sûr, il n'y avait personne, et je compris que j'entendais ma propre voix produisant cette phrase de façon répétitive ; mais au lieu d'entendre du langage parlé, je percevais une mélodie. Mon discours s'était métamorphosé en un chant, par un simple processus de répétition.

Cette étonnante transformation perceptive, dont j'ai appris plus tard qu'elle se produit pour la plupart des gens, montre que la frontière entre la parole et le chant est parfois ténue. De fait, de nombreuses vocalisations se situent à la frontière entre des mots parlés et chantés, notamment dans les chants religieux, les oratorios, certains opéras ou encore la musique rap.

Pourtant, même si les musiciens semblaient prouver le contraire, les scientifiques ont longtemps soutenu que la parole et la musique étaient contrôlées par des aires cérébrales différentes. Les psychologues, les linguistes et les neuroscientifiques ont récemment changé d'avis, à mesure que les techniques d'imagerie cérébrale montraient que les régions cérébrales traitant la musique et le langage se recouvrent en partie. Les données les plus récentes montrent que les deux sont en fait tellement entrelacées que la conscience de la musique est essentielle au développement du langage chez le bébé, et aide même à forger les liens entre le nourrisson et sa mère. Certaines études suggèrent qu'à mesure que les enfants grandissent, la pratique musicale stimule diverses capacités cognitives et l'apprentissage de la lecture.

Paroles et musique

Qui plus est, les liens neurologiques entre la musique et le langage sont à double sens : la musique influe sur la parole, mais la langue maternelle influence la façon dont on perçoit la musique. La même succession de notes peut résonner différemment selon la langue maternelle de l'auditeur, et les personnes parlant des langues tonales, tel le mandarin, ont plus de chances que les Occidentaux d'avoir une bonne oreille.

Les musiciens et les philosophes affirment depuis longtemps que la parole et la mélodie sont interconnectées. Le compositeur russe Modest

Moussorgski pensait que la musique et la parole étaient tellement similaires dans leur essence qu'un compositeur pouvait reproduire une conversation. Il écrivit à son ami Nikolaï Rimski-Korsakov : « Quelle que soit la langue que j'entends, quelle que soit la personne qui la parle… mon cerveau se met immédiatement à traduire en musique ce qui se dit. » Et en effet, lorsqu'on écoute certaines de ses œuvres pour piano et orchestre, on peut avoir l'impression « d'entendre » la langue russe.

Au milieu du XXe siècle, malgré ces liens apparents entre la parole et la musique, les chercheurs – confortés par l'examen de patients dont les lésions cérébrales perturbaient le langage en épargnant leurs aptitudes musicales – commencèrent par vouloir séparer ces deux fonctions. Selon eux, le langage était traité par l'hémisphère gauche et la musique par le droit. Les signaux neuronaux correspondant au langage devaient contourner, pensaient-ils, les circuits habituels de traitement des sons, et être analysés par un « module » indépendant localisé dans l'hémisphère gauche. Ils supposaient que ce module excluait les sons non verbaux, tels que la musique. Inversement, toujours selon cette théorie, la musique était traitée par un module de l'hémisphère droit qui excluait les sons du langage. Cette hypothèse devint si populaire que pendant des décennies personne ne la remit en cause, personne n'osa proposer que le langage et la musique pourraient être neurologiquement – et fonctionnellement – liés.

Des aires cérébrales partagées

Mais, vers la fin des années 1990, une génération de jeunes chercheurs commença à remettre cette idée en question. Ils montrèrent, d'après des données existantes, que certains aspects de la musique impliquent plus l'hémisphère gauche que le droit. De plus, des expériences, reposant sur de nouvelles méthodes, telles que l'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle, montrèrent que le traitement de la musique et celui du langage ne sont pas si différents.

On montra que la perception et l'appréciation de la musique impliquaient des régions cérébrales jusqu'alors considérées comme dédiées au traitement du langage. Dans une étude réalisée en 2002, Stefan Koelsch, à l'Institut Max Planck



Petr Vaclavek / Shutterstock







1. Certaines vocalisations ne sont ni des paroles ni des chants. C'est le cas de certains passages d'opéra, des cris des vendeurs de rues, ou des déclamations des rappeurs.

de sciences cognitives de Leipzig, en Allemagne, et ses collègues ont fait écouter des séquences d'accords à des participants tandis qu'ils observaient leur cerveau par IRM fonctionnelle. Ils constatèrent que cette tâche activait notamment deux régions de l'hémisphère gauche, les aires de Broca et de Wernicke *(voir la figure 2)*, qui sont essentielles pour le traitement du langage et dont de nombreux chercheurs pensaient qu'elles étaient exclusivement dédiées à cette fonction. D'autres études plus récentes ont révélé que la parole active un grand nombre des régions cérébrales activées par le chant. Ces résultats et beaucoup d'autres ont établi que les réseaux neuronaux dédiés à la parole et au chant sont largement superposés.

Ce recouvrement est logique, parce que le langage et la musique ont beaucoup de points communs. Ils respectent l'un et l'autre une grammaire, où les éléments de base sont organisés de façon hiérarchique en séquences respectant des règles établies. Dans le langage, les mots se combinent pour former des expressions, assemblées en propositions plus longues, qui à leur tour forment des phrases, des paragraphes, des chapitres, etc. De même, en musique, les notes se combinent pour former des mesures, puis des phrases musicales, puis des mouvements, jusqu'à la symphonie. Dès lors, pour comprendre le langage ou la musique, les auditeurs doivent reconnaître la structure des passages qu'ils entendent, d'après les règles qu'ils ont assimilées.

Le sens de la mélodie

De plus, le langage présente une mélodie naturelle, nommée prosodie. Elle comprend les tons de la voix, le contour tonal (les montées et descentes de la mélodie), les variations d'intensité, le rythme et le débit. Les caractéristiques prosodiques reflètent souvent l'état émotionnel de l'orateur. Lorsque les gens sont heureux ou excités, ils parlent souvent plus vite, avec une voix plus aiguë et d'amples variations de gamme tonale ; lorsqu'ils sont tristes, ils parlent plus lentement, avec une voix plus grave et peu de variations tonales. La prosodie nous aide aussi à comprendre la signification d'un discours. Les phrases sont souvent séparées par des pauses ; la fin des phrases est généralement plus grave et le débit se fait plus lent. Au contraire, les mots importants sont souvent prononcés sur un mode plus aigu. Certaines caractéristiques de ton et de rythme du langage parlé se retrouvent aussi en musique, ce qui indique que des circuits neuronaux en partie communs doivent être impliqués.

À la naissance, les bébés sont déjà familiarisés avec la mélodie de la voix de leur mère. Des enregistrements audio réalisés dans l'utérus au début du travail, juste avant l'accouchement,

Aire de Broca

Aire de Wernicke

Raphael Queruel

2. Le traitement de la musique implique un grand nombre des aires cérébrales du traitement du langage. Ces régions à fonction multiple incluent l'aire de Broca *(en violet)* et l'aire de Wernicke *(en vert)*.

révèlent que les sons du langage produits par la mère sont tout à fait audibles. Cependant, les phrases qui atteignent le bébé sont filtrées par les tissus de la mère, ce qui fait que les hautes fréquences – qui convoient une bonne partie de l'information importante pour le sens des mots – sont étouffées, tandis que les caractéristiques musicales de la parole – le contour tonal, les variations d'intensité, de débit et le rythme – sont préservées.

Ces mélodies parlées semblent préparer le terrain pour l'établissement du lien mère-enfant. Dans une expérience datant de 1980, les psychologues Anthony De-Casper, de l'Université de Caroline du Nord à Greensboro, et William Fifer, à l'Université Columbia, ont enregistré des mères lisant une histoire à voix haute. Dans ce protocole expérimental, les nouveau-nés pouvaient mettre l'enregistrement en route en tétant une sucette. Ils apprenaient très vite à faire le lien, et ils tétaient plus souvent lorsque cela activait la voix de leur mère. Les psychologues en ont conclu que les nouveau-nés préféraient écouter les voix avec lesquelles ils s'étaient familiarisés avant la naissance. Ensuite, en 1996, les psychologues Mélanie Spence et Mark Freeman, de l'Université du Texas à Dallas, ont réalisé une expérience similaire où ils ont utilisé un filtre passe-bas pour assourdir des voix de femmes enregistrées, de telle sorte qu'elles résonnent comme *in utero*. Les nouveau-nés préféraient les voix filtrées de leur mère à celles des autres femmes, indiquant à nouveau qu'ils s'étaient familiarisés avec la mélodie de la voix maternelle *in utero*.

Ainsi, l'exposition précoce à la musique des sons parlés tisse la connexion naissante entre la mère et l'enfant, mais elle pourrait aussi enclencher le processus d'apprentissage du langage. Dans une étude de 1993, par exemple, des bébés âgés de deux jours préféraient écouter des enregistrements réalisés dans leur langue maternelle que dans une langue étrangère. Dans la mesure où des bébés aussi jeunes ne pouvaient avoir été familiarisés avec la langue qu'*in utero*, ces résultats suggèrent que les bébés sont sensibilisés aux caractéristiques musicales de leur langue.

Ainsi, la musique serait le premier aspect du langage que les bébés apprennent à reproduire : ils reproduisent les mélodies de leur langue maternelle lorsqu'ils pleurent, longtemps avant d'être capables de prononcer des mots. En 2009, l'anthropologue Kathleen Wermke et ses collègues, de l'Université de Würzburg en Allemagne, ont enregistré les pleurs de bébés – dont la tonalité commence par monter, puis redescend – nés soit dans des familles de langue française, soit dans des familles de langue allemande. Ces chercheurs ont découvert que les cris des bébés français comprenaient essentiellement des mélodies montantes, tandis que les mélodies descendantes dominaient dans les cris des bébés allemands. Ainsi, les nouveau-nés de cette étude incorporaient dans leurs pleurs certains des éléments musicaux de la langue à laquelle ils avaient été exposés *in utero*, montrant qu'ils avaient déjà appris à utiliser certaines caractéristiques de leur langue maternelle.

L'importance du parler bébé

La mélodie du langage reste essentielle à la communication entre la mère et l'enfant après la naissance. Lorsque les parents parlent à leur enfant, ils exagèrent certains motifs de la langue : c'est le « parler bébé », caractérisé par des tonalités hautes, une large gamme de tonalités, des débits ralentis et des phrases courtes. Ces exagérations mélodiques aident les bébés qui ne peuvent pas encore comprendre la signification des mots à saisir les intentions de leur mère. Par

3. Les mélodies exagérées du langage – le parler bébé – que les parents utilisent lorsqu'ils parlent à leurs petits aident les nourrissons à saisir les intentions du locuteur.


Calek / Shutterstock

exemple, les mères utilisent un contour tonal descendant pour consoler un bébé en détresse et un contour tonal montant pour attirer l'attention du bébé. Pour exprimer l'approbation ou les louanges, elles produisent un contour tonal montant et descendant rapidement, comme dans « Bravo-o-o-o ! ». Lorsqu'elles expriment la désapprobation, comme dans « Ne fais pas ça ! », elles parlent d'une voix grave, saccadée.

En 1993, la psychologue Anne Fernald, de l'Université Stanford, a rapporté qu'elle avait exposé des bébés de cinq mois de familles de langue anglaise à des phrases dénuées de sens prononcées sur un ton d'approbation ou de réprobation en allemand, en italien et en anglais, ainsi qu'en parler bébé anglais. Bien que toutes ces phrases aient été du charabia, les bébés répondaient avec les émotions appropriées, souriant lorsqu'ils entendaient des approbations et se fermant ou pleurant lorsqu'ils entendaient des réprobations. Ainsi, la seule mélodie de la langue, indépendamment du sens, véhicule le message.



Testing / Shutterstock

4. L'oreille absolue est fréquente chez les locuteurs de langues tonales. On estime que 92 pour cent des locuteurs de mandarin ayant commencé à apprendre la musique avant l'âge de cinq ans ont l'oreille absolue, c'est-à-dire qu'ils peuvent chanter n'importe quelle note juste, sans référence. On estime que seulement huit pour cent des Français ayant une formation musicale comparable présentent cette capacité.

Bien que l'aptitude à détecter la mélodie de la parole soit innée, il est possible de l'aiguiser en prenant des leçons de musique. Dans une étude publiée en 2009, les neuroscientifiques Mireille Besson, à l'Institut des neurosciences cognitives de la Méditerranée, à Marseille, Sylvain Moreno, à l'Institut de recherche Rotman à Toronto, et leurs collègues ont recruté des enfants âgés de huit ans qui n'avaient jamais eu de cours de musique et les ont divisés en deux groupes. Le premier groupe a reçu des cours de musique pendant six mois tandis que l'autre a suivi des cours de peinture.

Avant et après cette formation, les enfants ont écouté des phrases enregistrées ; dans certaines phrases, la hauteur du dernier mot montait, si bien qu'il ne s'accordait pas avec le reste de la phrase. Les enfants devaient repérer les phrases qui leur semblaient incorrectes. Au début, les deux groupes détectaient de la même façon les changements de tonalité, mais après six mois de cours, les enfants qui avaient suivi des leçons de musique étaient devenus meilleurs que les autres. Les enfants apprenant la musique percevraient mieux le contenu émotionnel – et le sens – des mots.

La musique améliore le décodage des mots

La pratique musicale pourrait notamment influer sur la perception de la prosodie en agissant sur un ensemble de structures qui reçoivent les signaux de l'oreille et contribuent à décoder les sons de la parole et de la musique. Dans une étude datant de 2007, Patrick Wong, Nina Kraux et leurs collègues de l'Université Northwestern ont exposé des locuteurs anglais à des sons du langage mandarin, et ont enregistré l'activité cérébrale à l'aide d'électrodes placées sur le cuir chevelu. Les réponses au mandarin étaient plus fortes chez les participants qui avaient reçu une éducation musicale ; plus ils avaient commencé la musique tôt et plus ils avaient poursuivi longtemps leurs études musicales, plus l'activité enregistrée était importante *(voir l'encadré page ci-contre)*.

D'autres recherches montrent que les cours de musique peuvent améliorer la capacité à détecter les émotions véhiculées par le langage parlé (vraisemblablement à travers le renforcement de la conscience de la prosodie). Dans une étude publiée en 2004, le psychologue William Thompson et ses collègues de l'Université de Toronto ont donné des leçons de piano à des enfants de six ans pendant un an. Ils ont ensuite testé leur capacité à identifier des émotions

exprimées dans des phrases parlées, et ont comparé leurs résultats à ceux d'enfants n'ayant pas suivi de cours. Ils ont trouvé que les enfants qui avaient suivi cet enseignement reconnaissaient mieux si les phrases étaient exprimées sur un ton craintif ou coléreux – même si les phrases étaient prononcées dans une langue étrangère.

Les cours de musique pourraient même accélérer le processus d'apprentissage de la lecture. Les bons lecteurs tendent à obtenir de meilleurs résultats que les mauvais lecteurs aux tests de capacité musicale (bien qu'il y ait de nombreuses exceptions à cette règle). On a même suggéré que la musique (associée à d'autres thérapies) serait utile dans la prise en charge de la dyslexie.

Oreille absolue et langue tonale

Ainsi, l'exposition à la musique est susceptible d'augmenter les capacités langagières, mais, inversement, le langage parlé influe sur notre perception de la musique. Par exemple, dans une illusion musicale nommée paradoxe du triton, que j'ai découverte dans les années 1980, un sujet écoute successivement deux sons produits par ordinateur, séparés par six demi-tons ou une demi-octave (ou triton). Chaque note est bien définie, par exemple un *do*, *do* dièse ou *ré*, mais il n'est pas possible de dire dans quelle octave elle se situe. Le sujet doit dire si les notes sont ascendantes ou descendantes.

En raison de l'ambiguïté des notes, la perception varie selon l'auditeur. Or j'ai découvert que la réponse du sujet dépend de sa langue maternelle. Par exemple, en 1991, j'ai demandé à des personnes qui avaient été élevées en Californie et à d'autres qui avaient été élevées dans le Sud de l'Angleterre de juger ces tritons. Les résultats ont montré que lorsque les Californiens avaient tendance à entendre un motif ascendant, les Anglais du Sud le percevaient plutôt comme descendant, et inversement. Dans une autre étude, nous avons retrouvé les mêmes réponses opposées entre des auditeurs vietnamiens et des auditeurs de langue anglaise nés en Californie, ce qui suggère que le langage que nous apprenons au début de notre vie fournit un cadre musical qui influe sur notre perception des mélodies.

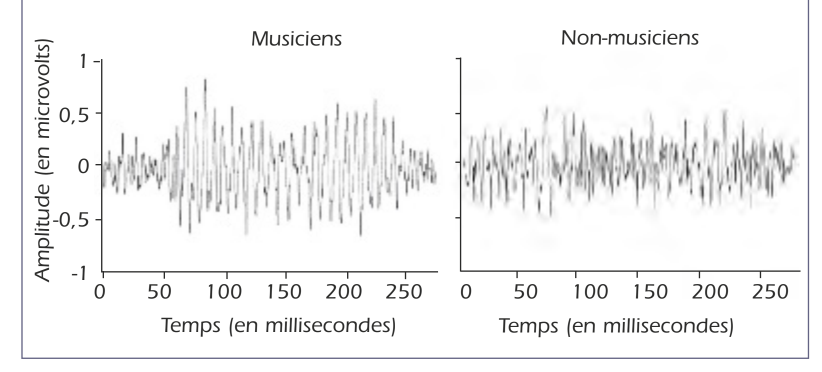
Un tel moule pourrait aussi imposer la gamme tonale de la voix parlée. Ainsi, nous avons étudié les gammes tonales du langage des femmes de deux villages chinois, et avons découvert qu'elles étaient similaires pour les personnes du même village, mais différaient d'un village à l'autre, ce qui suggère que même des différences locales dans les voix que nous entendons autour de nous peuvent influer sur la tonalité des paroles que nous produisons.

La langue à laquelle nous sommes exposés peut aussi agir sur la probabilité que nous développions une oreille absolue, c'est-à-dire la capacité à reconnaître une note en l'absence de note de référence. Cette capacité est très rare dans notre culture, de l'ordre de une personne pour 10 000. En 1997, j'ai remarqué que lorsque je prononçais un mot vietnamien sans faire attention à sa hauteur, mes auditeurs vietnamiens se méprenaient sur ce que j'avais dit, ou ne me comprenaient pas. Mais lorsque la hauteur était juste, le problème disparaissait. Le vietnamien et le mandarin sont des langues tonales où les mots ont un sens totalement différent selon la hauteur à laquelle ils sont prononcés. En vietnamien, le mot « ba » prononcé à une hauteur moyenne et stable signifie « père » ; le même mot prononcé avec une tonalité plus grave et descendante signifie « grand-mère ». En mandarin, le mot « ma » signifie « mère » sur un ton aigu et stable, mais « cheval » sur un ton grave qui commence par descendre, puis remonte *(voir l'encadré page 70)*.

J'ai ensuite découvert que non seulement les locuteurs vietnamiens et mandarins sont très sensibles aux hauteurs qu'ils entendent, mais qu'ils sont également capables de produire des mots ayant la bonne hauteur. Nous avons demandé à des sujets dont la langue maternelle était le vietnamien et le mandarin de réciter une liste de mots dans leur langue maternelle, deux

Accorder le cerveau

Dans une étude de 2007, des scientifiques ont enregistré l'activité cérébrale de personnes qui écoutaient des enregistrements de mots prononcés en mandarin. Les sujets de cette étude, tous des anglophones, ne comprenaient pas la signification de ce qu'ils entendaient. Mais ceux qui avaient reçu une formation musicale *(ci-dessous à gauche)* présentaient des réponses électriques beaucoup plus fortes que ceux qui n'en avaient pas eu *(ci-dessous à droite)*. Ce travail suggère que le fait d'apprendre à chanter ou à jouer d'un instrument peut sensibiliser à la mélodie d'une langue.



La mélodie des mots

Dans une langue tonale, tel le mandarin, le sens d'un mot dépend des variations tonales. Ci-dessous, des exemples de mots phonétiquement identiques, mais qui, selon la hauteur à laquelle ils sont prononcés, ont quatre sens différents.

Note	Mot	Caractère chinois	Signification
1	mā	妈	Mère
2	má	麻	Chanvre
3	mǎ	马	Cheval
4	mà	骂	Reproche

Note	Mot	Caractère chinois	Signification
1	wēn	温	Chaud
2	wén	闻	Entendre
3	wěn	稳	Stable
4	wèn	问	Demander

Note	Mot	Caractère chinois	Signification
1	yāo	腰	Taille
2	yáo	摇	Secouer
3	yǎo	咬	Mordre
4	yào	药	Drogue

Note	Mot	Caractère chinois	Signification
1	wēi	微	Petit
2	wéi	围	Entourer
3	wěi	尾	Queue
4	wèi	喂	Nourrir

Note 1 : aiguë et stable ; note 2 : commence à une hauteur moyenne et monte ; note 3 : d'abord grave, puis descend et remonte ; note 4 : d'abord aiguë, puis descend.

jours de suite. Nous avons découvert que la hauteur de leurs productions était remarquablement constante : lorsque l'on comparait les enregistrements réalisés à une journée d'écart, les différences de hauteur tonale chez la moitié des participants étaient inférieures à un demi-ton.

Les interactions positives de la musique et du langage

À la lumière de ces résultats, je me suis demandé si les locuteurs de langues tonales acquéraient une oreille absolue lorsqu'ils étaient bébés, en même temps que d'autres caractéristiques de leur langue maternelle. L'oreille absolue devrait être plus facile à acquérir pour des locuteurs de langue tonale que pour des locuteurs d'une langue non tonale, comme le français ou l'anglais. Nous avons testé deux grands groupes d'étudiants de conservatoires – des locuteurs mandarins au Conservatoire de musique de Beijing, et des locuteurs anglais ou d'autres langues non tonales de l'École de musique Eastman à Rochester, dans l'État de New York. Nous avons trouvé que les locuteurs mandarins ont beaucoup plus souvent l'oreille absolue que les autres locuteurs testés. Restait encore une hypothèse à évaluer : y aurait-il un « gène de l'oreille absolue » particulièrement répandu dans la population chinoise ?

Pour le savoir, nous avons testé des étudiants du Conservatoire de musique de l'Université de Californie du Sud – un groupe d'anglophones et trois groupes d'étudiants de l'Asie de l'Est, divisés en fonction de leur maîtrise de leur langue tonale maternelle. Parmi les anglophones, la prévalence atteignait à peine huit pour cent pour ceux qui avaient commencé l'apprentissage de la musique avant l'âge de cinq ans, et un pour cent parmi ceux qui avaient commencé entre six et neuf ans. Ces statistiques étaient identiques parmi les étudiants asiatiques qui ne parlaient pas couramment leur langue maternelle tonale.

Au contraire, les étudiants qui parlaient parfaitement leur langue maternelle (tonale, rappelons-le) ont atteint un score extraordinaire à notre test : 92 pour cent de ceux qui avaient commencé leur formation avant cinq ans avaient l'oreille absolue, et 67 pour cent de ceux qui avaient commencé entre six et neuf ans. Ces résultats suggèrent que la forte prévalence de l'oreille absolue chez les locuteurs de langue tonale ne dépend pas des gènes, mais bien de l'exposition à leur langue maternelle.

Ainsi, la langue que nous apprenons dans notre enfance, et que nous parlons au quotidien, aurait un effet profond sur la façon dont nous encodons les sons musicaux. En effet, par de multiples aspects, la musique et le langage semblent être des images miroirs. Chacun joue un rôle important dans le développement de l'autre – dans la façon dont nous communiquons et percevons les sons, dans notre compréhension de la langue, et dans le fonctionnement de notre cerveau. ■

Bibliographie

I. Deliège, O. Vitouch et O. Ladinig, *Musique et évolution*, Mardaga, 2010.

S. Bencivelli, *Pourquoi aime-t-on la musique ? Oreille, émotion, évolution*, Belin, Collection Regards, 2009.

D. Deutsch et al., *The speech-to-song illusion*, in www.acoustics.org/press/156th/deutsch.html

D. Deutsch et al., *Perfect pitch : language wins out over genetics*, in www.acoustics.org/press/157th/deutsch.html

B. Mampe et al., *Newborn's cry melody is shaped by their native language*, in *Current Biology*, vol. 19, pp. 1994-97, 2009.

D. Deutsch, *The enigma of absolute pitch*, in *Acoustics Today*, vol. 2, pp. 11-9, 2006.



Leight Prather / Shutterstock

Des défis pour le cerveau

Parfois, le cerveau est soumis à des défis. C'est le cas chez les personnes amusiques, insensibles au plaisir que procure généralement la musique. C'est vrai aussi quand on écoute de la musique contemporaine. Mais tout serait une question de temps et d'habituation, et Stockhausen sera peut-être aussi doux aux oreilles des générations futures que Bach ou Mozart pour nous.

L'amusie congénitale, un handicap musical

Barbara Tillmann dirige l'Équipe Cognition auditive et psychoacoustique au sein du Laboratoire Neurosciences sensorielles, comportement, cognition, CNRS-UMR 5020, à l'Université Lyon 1.

Au moins quatre pour cent de la population souffrent d'amusie, c'est-à-dire qu'ils ont des difficultés à percevoir la musique et à chanter juste. Une anomalie neurodéveloppementale serait en cause.

En Bref

- Les personnes atteintes d'amusie chantent faux sans s'en rendre compte.
- Elles ne parviennent pas à dire si une note est plus aiguë ou plus grave qu'une autre.
- Elles ont une mémoire à court terme des notes déficiente, ce qui leur donne l'impression que les notes s'effacent.
- Selon une hypothèse à l'étude, l'amusie serait liée à une minuscule anomalie de connexion entre le cortex temporal et le cortex frontal.

Alors que vous êtes nombreux à aimer écouter de la musique et fredonner vos airs favoris, vous êtes peut-être quelques-uns à ne pas y parvenir. Lorsque certaines personnes entonnent « Joyeux anniversaire » lors d'une fête, il leur est difficile de chanter juste. De plus, elles ne réagissent pas aux fausses notes embarrassantes d'un pianiste amateur qui participe à un concert de fin d'année, alors que les autres membres du public ont du mal à cacher leur désagrément.

Ces personnes sont atteintes d'amusie congénitale, c'est-à-dire qu'elles ont des difficultés à reconnaître une mélodie familière sans parole, à détecter une fausse note ou quelqu'un qui chante faux (y compris elles-mêmes !). Il s'agit d'un déficit musical, mais il ne résulte pas d'une lésion cérébrale, pas plus que d'une perte auditive, d'un déficit cognitif, intellectuel ou social, ou encore d'un manque d'exposition à la musique. Les personnes atteintes d'amusie comprennent normalement le langage et reconnaissent des voix et des sons de l'environnement.

Dès lors comment expliquer l'amusie ? Pour les personnes qui en sont atteintes, la musique n'a pas de sens et sonne comme une langue étrangère – voire comme du bruit. Isabelle Peretz et ses collègues de l'Université de Montréal ont qualifié l'amusie congénitale de « handicap musical ». Contrairement aux bébés et à la majorité des adultes non musiciens qui ont des capacités musicales très élaborées, les personnes atteintes d'amusie ne perçoivent pas spontanément le langage musical.

On estime qu'environ quatre pour cent de la population souffrent d'amusie congénitale, mais il est probable que la proportion réelle est supérieure. Certains cachent sans doute leur handicap, car il est socialement peu acceptable de ne pas aimer la musique. Des exemples de personnes célèbres atteintes de cette condition confirment que ce dysfonctionnement musical n'est pas lié à des déficits cognitifs et intellectuels : le révolutionnaire argentin Che Guevara et le prix Nobel d'économie Milton Friedman avaient de grandes difficultés à percevoir la musique. Ces cas restaient anecdotiques, même si certaines descriptions datent du XIXe siècle. Pourtant, depuis 2002, ce trouble est étudié de façon plus systématique. Les différentes études ont montré que ce dysfonctionnement ne résulte ni d'un manque d'éducation, ni d'un manque de culture, ni d'un déficit auditif (tel qu'une surdité).

Ces recherches scientifiques ont révélé que les sujets amusiques ont des déficits de capacités

musicales : par exemple, ils ne parviennent pas à distinguer deux mélodies ni à reconnaître une mélodie qu'on vient de leur faire écouter. En revanche, tous les tests d'audition sont normaux, tout comme ceux des capacités cognitives (tests d'intelligence, de mémoire ou de langage). Ils n'ont aucune pathologie neurologique ou psychiatrique. Les sujets étudiés étaient même sélectionnés pour avoir fait des études supérieures à l'université et parce qu'ils avaient suivi des cours de musique pendant leur enfance (notons que l'apprentissage avait été difficile et sans succès particulier). On en déduit que la cause de l'amusie n'est ni une difficulté d'apprentissage, puisque les sujets ont fait des études supérieures, ni un manque d'exposition à la musique. Les études ont également montré que le déficit est spécifique du domaine musical, c'est-à-dire que les sujets reconnaissaient bien des sons de l'environnement (cris d'animaux, par exemple), des voix et l'intonation. Dès lors, d'où vient l'amusie et comment l'évaluer ?

Des progrès ont été réalisés dans ce domaine grâce aux tests neuropsychologiques *(Montreal Battery for the Evaluation of Amusia)* mis au point par l'équipe d'I. Peretz. Cette batterie de tests permet de dépister les personnes atteintes d'amusie. Elle consiste en tests qui évaluent différentes composantes du traitement de la musique : est-ce que le sujet perçoit des notes qui ne sont pas dans le ton du morceau (les notes sonnent faux) ? Est-ce qu'il perçoit le contour mélodique (la mélodie monte ou descend), la taille des intervalles, le rythme ? Est-ce qu'il présente des troubles de la mémoire ? Par exemple, on fait écouter aux participants une courte mélodie, suivie d'une pause, puis d'une seconde mélodie ; ils doivent indiquer si les deux mélodies sont identiques ou différentes. Cette tâche se révèle plus difficile pour les personnes atteintes d'amusie que pour les autres.

La principale difficulté rencontrée par les amusiques dans cette batterie de tests concerne la hauteur des notes (une note est-elle plus grave ou plus aiguë qu'une autre ?). Les amusiques réussissent beaucoup moins bien que les sujets contrôles lorsque les deux mélodies à comparer se distinguent par une note dont la hauteur change. Lorsque les différences entre les deux mélodies portent sur la dimension temporelle (le rythme), les performances sont plus variables et les amusiques peuvent obtenir des scores normaux. Des chercheurs se sont récemment intéressés aux amusiques, car ils présentent aussi des difficultés pour danser ou garder un rythme.



1. Quand les notes d'une mélodie ne ressemblent à rien pour celui qui les écoute et qu'il est incapable de reconnaître une chanson sans paroles ou de détecter une fausse note, c'est qu'il est vraisemblablement atteint d'amusie.



Akva / Shutterstock

2. Che Guevara était atteint d'amusie congénitale.

Étant donné ce résultat, on a proposé que l'amusie résulterait d'un déficit dans la discrimination des notes de hauteurs différentes. Alors qu'il est facile pour une personne non amusique (même non musicienne) de distinguer deux notes qui se différencient d'un demi-ton (deux touches adjacentes sur un clavier de piano), certains amusiques ont des difficultés pour indiquer que ces deux notes sont différentes et, parfois, ces difficultés persistent même quand les deux notes sont séparées de deux, voire trois demi-tons.

On suppose que les personnes amusiques naissent avec ce déficit, qui rend difficile la perception des structures musicales (notamment les différences entre les notes) et l'acquisition normale des connaissances musicales. Comme les mélodies de la musique occidentale tonale contiennent beaucoup d'enchaînements de notes qui se différencient seulement par un ou deux demi-tons, ce déficit de discrimination expliquerait pourquoi les amusiques ont du mal à distinguer deux mélodies. Ce déficit perceptif serait renforcé par les difficultés qu'ils éprouvent pour indiquer la direction d'un changement entre deux notes, par exemple pour dire si la deuxième note est plus aiguë ou plus grave que la première.

Quand les notes se dissolvent

Des études plus récentes montrent que le dysfonctionnement ne concerne pas seulement la perception de la hauteur (discrimination de notes proches et sens de la variation), mais surtout la mémoire des sons. En effet, lorsqu'on demande au sujet de comparer deux sons, les amusiques peuvent réussir lorsque les deux sons sont séparés de moins de une seconde, mais ils échouent quand le délai entre les notes augmente (par exemple, à trois ou cinq secondes), tandis que les performances de sujets non amusiques restent correctes. De plus, même les amusiques ayant des capacités de discrimination de hauteur comparables à celles des participants contrôles échouent dès que la tâche fait appel à la mémoire à court terme de séquences de notes. La faiblesse de cette mémoire à court terme se reflète également dans la plus grande susceptibilité des amusiques aux interférences : quand ils doivent mémoriser un morceau court et que l'on présente d'autres sons pendant cet intervalle de temps, ils échouent plus facilement.

Tous ces résultats suggèrent que les traces laissées par les notes dans la mémoire sont déficitaires ou moins stables que pour les autres sujets. Or ce déficit de mémoire peut toucher les trois phases par lesquelles passe la mémorisation d'un souvenir : l'encodage, le stockage ou la récupération. Il est intéressant de noter que cette hypothèse de déficit mnésique pour le matériel musical rejoint ce que disent les amusiques : ils ont l'impression que les notes disparaissent et s'évanouissent dans leur mémoire et qu'il leur est difficile de les garder actives.

Et le langage ?

Or la mémoire à court terme est également essentielle dans le langage. Les personnes amusiques présentent-elles des troubles du langage ? Non, contrairement à leur déficit de mémoire à court terme pour les notes, les amusiques ne présentent aucun déficit de la mémoire à court terme pour les mots. Dans une des expériences, on leur présente une séquence de cinq mots (par exemple, *toux*, *loup*, *boue*, *goût* et *moue*), suivie de trois secondes de silence, puis on énonce une autre séquence de cinq mots (*toux*, *moue*, *boue*, *goût* et *loup*) et ils doivent dire si l'ordre des mots est le même ou non. Ce résultat confirme que les amusiques ne souffrent pas d'un déficit du traitement du langage, notamment ici de la mémoire verbale.

Est-ce que le déficit de traitement de la hauteur observé pour la musique se retrouve dans le traitement de la hauteur d'un matériel verbal ? Cette question est à l'étude. Le traitement de la hauteur est primordial pour la musique, mais il est également important pour le langage. Ainsi, la prosodie permet, par exemple, de distinguer une question d'une affirmation (*Tu viens ?* ou *Tu viens !*), traduit des émotions, et est essentielle dans les langues tonales où le contenu sémantique peut être déterminé par la hauteur.

Les amusiques ne rapportent pas de déficits dans la compréhension de la parole. Mais les changements de la hauteur sont généralement confortés par d'autres indices, tels que le contexte ou la signification des mots. Ces indices complémentaires aident-ils les amusiques à surmonter un éventuel déficit ? En laboratoire, on peut étudier la perception de la parole, et notamment de la prosodie, avec un matériel contrôlé totalement dépourvu d'indices complémentaires.

Les premières études sur l'amusie ont testé les participants avec des phrases ayant le même contenu sémantique, mais prononcées par exemple sous forme d'une question ou d'une affirmation. Ces premiers résultats n'ont pas révélé de déficit dans la perception de l'intonation prosodique chez les amusiques. Mais il faut ajouter que les différences de hauteurs impliquées dans la parole sont bien supérieures

Sur le Net

Un exemple de test utilisé pour détecter l'amusie est disponible sur le site : http://olfac.univ-lyon1.fr/Test_Auditif/

(jusqu'à 12 demi-tons) à celles mises en jeu dans la musique (1 ou 2 demi-tons).

Le déficit de discrimination de hauteur des amusiques ne serait donc pas spécifique de la musique, mais seule l'écoute de la musique y serait sensible. D'autres recherches ont montré qu'en fonction des tâches ou des mots et phrases utilisés, certaines personnes amusiques présentent des déficits de perception de la hauteur des mots. Ainsi, elles auraient des difficultés pour percevoir le mot sur lequel on appuie dans une phrase, pour insister. Par exemple, la phrase « J'ai pris le vélo pour aller au théâtre » n'aura pas la même connotation si l'accent tonal porte sur *vélo* (j'y suis allé en vélo et non en métro) ou sur *théâtre* (je suis allé au théâtre où nous avions rendez-vous). Une étude récente a rapporté des cas d'amusie congénitale parmi des locuteurs du chinois mandarin et a montré qu'une partie de ces amusiques a également des déficits dans la discrimination et l'identification des mots en mandarin. En effet, dans certaines langues tonales, dont le thaï et le chinois mandarin, le locuteur utilise la hauteur des mots pour indiquer leur sens.

Ces recherches sur l'amusie congénitale et la perception musicale et langagière améliorent notre compréhension de l'organisation fonctionnelle et structurelle du cerveau quand il doit percevoir la musique et le langage. Tous les résultats, y compris ceux obtenus avec l'imagerie cérébrale fonctionnelle, suggèrent que certains réseaux neuronaux sont partagés pour le traitement de la musique et du langage.

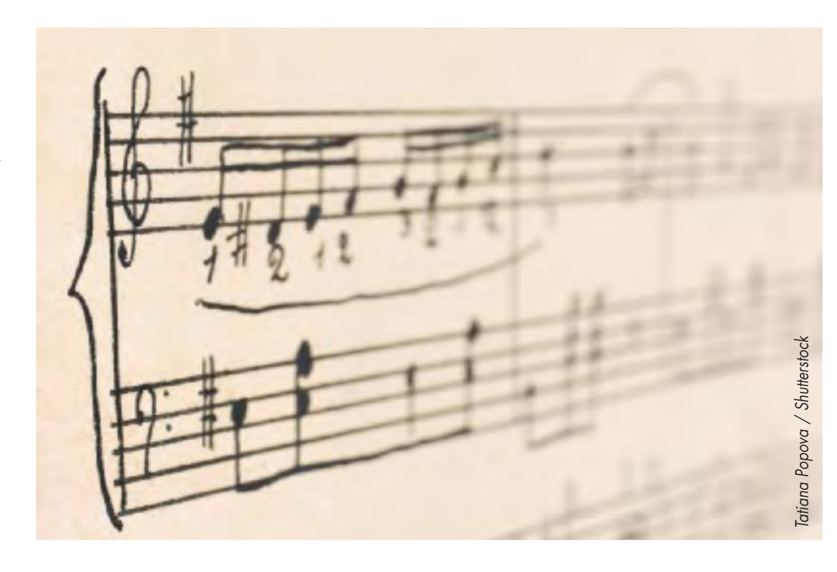
Connexions anormales ?

Les caractéristiques du dysfonctionnement de la perception musicale ressemblent à celles que l'on observe chez les patients souffrant d'amusie dite « acquise », c'est-à-dire résultant de lésions cérébrales, par exemple après un accident vasculaire cérébral, un traumatisme ou l'apparition d'une tumeur. Mais, nous l'avons souligné, les personnes amusiques n'ont ni lésions neurologiques ni anomalies anatomiques structurelles du cerveau. Toutefois, des études récentes qui utilisent des méthodes d'imagerie cérébrale plus performantes ont révélé de minuscules différences.

Les différences n'apparaissent pas quand on étudie un individu séparément, mais quand on compare un groupe de personnes amusiques et un groupe de personnes dites contrôles qui sont appariées en termes d'âge, de sexe, d'éducation ainsi que de formation musicale. On a ainsi comparé entre ces deux groupes les volumes de la substance grise et de la substance blanche, laquelle reflète la connectivité neuronale entre les aires cérébrales. On a, par exemple, trouvé des petites différences dans le cortex droit, et notamment dans les connexions entre le cortex temporal (qui contient le cortex auditif) et le cortex frontal, des aires cérébrales dont on sait par l'imagerie cérébrale fonctionnelle qu'elles sont impliquées dans la perception musicale.

L'amusie congénitale résulterait d'un trouble neurodéveloppemental entraînant une communication réduite entre le cortex temporal et le cortex frontal. Elle a été rapprochée d'autres troubles neurodéveloppementaux, tels ceux du langage ou de la reconnaissance des visages. L'amusie congénitale serait transmise génétiquement : dans les familles des personnes amusiques, environ 39 pour cent des parents ou frères et sœurs présentent ce dysfonctionnement musical, tandis que c'est le cas pour seulement trois pour cent des sujets des familles des personnes contrôles.

Les recherches actuelles visent à mieux comprendre le phénomène et à trouver comment aider ces personnes à vaincre leur déficit, par exemple au moyen d'un entraînement perceptif ou mnésique adapté. Quelques résultats indiquent que le cerveau amusique pourrait traiter certains indices de hauteur à un niveau implicite (sans en avoir conscience) : peut-être pourrait-on aider les amusiques par un entraînement adapté qui leur ferait prendre conscience de ces informations. Une autre approche vise à dépister l'amusie chez les jeunes enfants, afin d'utiliser leur grande plasticité cérébrale pour tenter d'y remédier. Enfin, en faisant connaître ce déficit, on permet aux amusiques de ne plus se sentir isolés et on évite de stigmatiser les personnes atteintes. C'est, par exemple, le cas des enfants qui font de leur mieux pour répondre aux attentes du professeur de musique ; ils sont injustement punis pour leur mauvaise volonté, alors que c'est leur amusie congénitale qui en est la cause. ■



Tatiana Popova / Shutterstock

3. Les amusiques ont une mémoire à court terme des notes déficitaire, de sorte qu'ils ont l'impression que les notes se dissolvent, comme sur cette partition.

Bibliographie

V. Williamson et al., *Faster decline of pitch memory over time in congenital amusia*, in *Advances in Cognitive Psychology*, vol. 6, pp. 15-22, 2010.

B. Tillmann et al., *Congenital amusia : A short-term memory deficit for nonverbal, but not verbal sounds*, in *Brain & Cognition*, vol. 71, pp. 259-264, 2009.

I. Peretz et K. Hyde, *What is specific to music processing ? Insights from congenital amusia*, in *Trends in Cognitive Science*, vol. 7, pp. 362-367, 2003.

Au royaume des sons

Brigitte Röder
est neuropsychologue
à l'Université
de Hambourg,
en Allemagne.

Chez les aveugles, la perception des bruits et des voix est exacerbée. Leur cerveau, ne recevant plus d'informations visuelles, se consacre pleinement à l'univers des sons.

En Bref

- Les aveugles ont une « acuité tactile » très développée.
- Ils ont des capacités auditives très performantes, car des zones cérébrales normalement réservées à la vision sont attribuées à l'audition.
- Leur capacité de compréhension de la parole est supérieure à la moyenne.
- Ils ont une mémoire hors du commun.

La lumière est éteinte, vous avez retiré votre montre, pour n'émettre aucune lumière. Vous êtes à une table, au restaurant, dans l'obscurité la plus totale. Autour de vous, d'autres personnes sont attablées. Vous remarquez qu'un verre est posé devant votre assiette, ce doit être l'apéritif. Vous buvez en silence. Un bruit vous fait tressaillir : quelqu'un a cassé son verre. Peu à peu, vous percevez les sons avec plus d'acuité. Vous distinguez mieux les voix autour de vous, vous avez repéré et enregistré la position de votre assiette et de vos couverts. Vous vous fiez à votre toucher pour trouver les objets, à votre ouïe pour imaginer les dimensions de la salle. Votre perception se réorganise : la perte de la vue laisse les autres sens s'épanouir. Diverses associations de non-voyants proposent ce type d'expériences aux personnes désirant se sensibiliser aux problèmes des aveugles.

Chez les personnes aveugles, ce phénomène de vases communicants entre les sens atteint son comble. Les aveugles entendent mieux, perçoivent mieux les objets au toucher, et ont des capacités de mémorisation sonore supérieures à la moyenne. Dès l'Antiquité, on faisait appel à eux pour réciter des passages entiers de la Bible. Aujourd'hui, on comprend mieux ce qui se passe dans le cerveau quand un sens fait défaut. Des aires cérébrales spécifiques sont allouées au traitement des informations sensorielles visuelles, auditives, tactiles, olfactives et gustatives ; quand une aire n'est plus utilisée, les autres détournent à leur profit cette puissance de travail inutilisée.

Le toucher est exacerbé chez les aveugles : les lecteurs de braille professionnels reconnaissent au toucher environ 200 mots par minute. Pourtant voyants et non-voyants ont le même seuil de sensibilité au toucher au bout des doigts (la force minimale qu'il faut exercer sur la peau pour percevoir la pression).

Une meilleure « acuité du toucher »

C'est l'« acuité » du sens du toucher qui est supérieure chez les aveugles de naissance : ils peuvent percevoir, au bout des doigts, deux pointes notablement plus rapprochées que les personnes voyantes (en deçà, les deux points ne sont pas discriminés, et l'on a l'impression qu'il n'y a qu'une seule pointe). Les points du braille (0,4 millimètre de hauteur et 1,5 de diamètre) n'étant espacés que de 2,3 millimètres, cette capacité est déterminante pour la lecture du braille.

Chez des personnes voyantes à qui l'on bande les yeux, « l'acuité » du toucher augmente et atteint presque celle des aveugles. Les tests d'imagerie révèlent que des zones plus étendues des centres cérébraux du toucher s'activent. Chez les aveugles aussi, l'aire corticale correspondant au doigt utilisé pour la lecture en braille s'agrandit ; manifestement, le cerveau s'adapte aux exigences particulières.

Le même phénomène a été observé pour l'audition. Les aveugles ont une ouïe bien supérieure à celle des voyants : la police hollandaise, par exemple, fait appel à eux lorsqu'il s'agit de déchiffrer des enregistrements de conversation téléphonique entre des suspects. Les aveugles identifient parfaitement les bruits de fond et les différents intervenants dans une conversation. Ils savent repérer, aux intonations, qui est le chef et qui reçoit les ordres. Nous avons examiné quels changements cérébraux correspondent à cette faculté.

Nous avons enregistré ce que l'on nomme les potentiels évoqués de personnes aveugles ou non, en plaçant des électrodes sur leur crâne. Nous avons observé que l'activation des centres cérébraux de l'audition est supérieure pour une stimulation donnée chez les aveugles. Ainsi, l'information sonore est traitée par un plus grand nombre de neurones, ce qui rend le traitement plus efficace. C'est sans doute pourquoi les aveugles reconnaissent si bien les voix : ils mobilisent davantage de cellules nerveuses pour les analyser. Ils se repèrent très bien dans l'obscurité, pour cette même raison. On a longtemps douté de la capacité supérieure des non-voyants à situer les sons dans l'espace, car les neurobiologistes postulaient que le système auditif fait appel à des représentations spatiales, forgées par le système visuel. Or, chez des personnes aveugles de naissance, ces représentations n'ont pu se former.

Une réorganisation du cerveau

Cette théorie, selon laquelle le cortex auditif des aveugles nécessiterait l'intervention du système visuel, a été remise en question dès 1995. Le neurobiologiste Josef Rauschecker, de l'Université de Georgetown, a examiné la capacité de chats aveugles à localiser des sources sonores situées sur le côté et derrière eux. Il recherchait la cause neurobiologique de leur faculté auditive supérieure, et fit une découverte étonnante. Chez ces chats, une zone cérébrale, nommée cortex ectosylvien antérieur, est très active. Or cette zone est une sorte de plaque tournante des systèmes sensoriels.



© Patrice Saguet / Sygma / Corbis

1. Ray Charles était devenu aveugle à l'âge de sept ans, à la suite d'une maladie qui avait détruit le nerf optique. À 73 ans, il impressionnait encore son public : il était chanteur, pianiste, saxophoniste et clarinettiste. Devait-il sa maîtrise de la musique à sa cécité ?

Bibliographie

C. Klinge et al., *Increased amygdala activation to emotional auditory stimuli in the blind*, in *Brain*, vol.133, pp. 1729-1736, 2010.

B. Röder et al., *Spatial coordinate systems for tactile spatial attention depend on developmental vision : evidence from event-related potentials in sighted and congenitally blind adult humans*, in *European Journal of Neuroscience*, vol. 28, pp. 475-483, 2008.

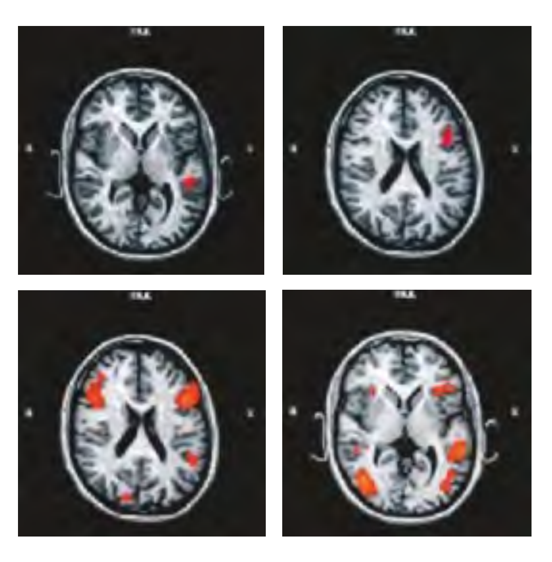
A. Amedi et al., *Early « visual » cortex activation correlates with superior verbal memory performance in the blind*, in *Nature Neuroscience*, vol. 6, n° 7, p. 758, 2003.

Elle centralise les données en provenance des yeux, des oreilles, de la langue, du nez et de l'ensemble du corps. J. Rauschecker observa que chez les chats aveugles, la zone est hyperactive, non seulement dans sa partie reliée au système auditif, mais aussi dans sa partie reliée au système visuel. Il se produit donc une réorganisation du cortex ectosylvien antérieur, aboutissant à l'utilisation par les sens intacts des domaines visuels inutilisés.

Nous avons mis en évidence le même phénomène chez des aveugles. Nous avons disposé quatre haut-parleurs côte à côte, le premier étant situé juste devant eux, le deuxième plus à droite, le troisième encore plus à droite et le dernier à l'extrémité droite du champ auditif. Parfois la fréquence du son variait. Les participants devaient appuyer sur un bouton lorsqu'ils entendaient un son aigu sortir du haut-parleur juste en face, ou de celui situé à l'extrême droite.

Nous avons observé qu'il n'y a pas de différences entre les aveugles et les personnes voyantes pour les sons émis de face, mais que les aveugles détectent mieux les sons latéraux. Nous avons aussi placé des électrodes sur leur crâne, et montré que les uns et les autres localisent l'émetteur en face d'eux en 100 millisecondes ; c'est aussi vrai pour le son émis par le haut-parleur de droite que les aveugles perçoivent, contrairement aux personnes voyantes. Les aveugles ont une réaction cérébrale aussi intense pour les sons périphériques que pour les sons frontaux.

En revanche, en étudiant la répartition des potentiels évoqués, nous avons montré que les sons centraux et les sons périphériques ne sont pas traités par la même zone cérébrale. L'activité cérébrale est située à l'arrière du cortex, dans des aires qui reçoivent des signaux de tous les systèmes sensoriels. Comme chez le chat, ces zones plurisensorielles semblent se réorganiser et des aires destinées au traitement des entrées visuelles prennent maintenant en charge les stimulus auditifs. De cette façon, les sons sont localisés beaucoup plus précisément. Ainsi, la capacité auditive supérieure des aveugles ne résulte pas seulement d'une hypertrophie des zones de perception auditive, mais de l'attribution au traitement auditif de zones habituellement réservées aux informations visuelles. Il y a un rééquilibrage des fonctions du cerveau.



2. Un traitement élargi de la parole. Une personne voyante *(en haut)* utilise deux aires cérébrales du langage situées dans l'hémisphère gauche quand elle écoute quelqu'un parler. Une personne aveugle *(en bas)* utilise les mêmes régions, mais aussi les régions correspondantes de l'hémisphère droit, ainsi que certaines zones du cortex visuel. Cette hyperactivation explique la perception auditive extraordinaire des aveugles.

Un cerveau moins latéralisé

Grâce à ce traitement particulier des sons, les aveugles ont une capacité de compréhension de la parole supérieure à la moyenne. Beaucoup d'aveugles écoutant des cassettes de livres enregistrés augmentent la vitesse de lecture du magnétophone. Les personnes voyantes ont des difficultés à comprendre cette information comprimée et, par conséquent, déformée. La voix accélérée de Mickey convient parfaitement aux auditeurs aveugles, mais est vite incompréhensible pour les autres.

Pour découvrir les bases neuronales sur lesquelles repose le traitement accéléré de la parole, nous avons fait écouter à des sujets aveugles et voyants des phrases, dont certaines avaient un sens, par exemple, « Quand nous campons, nous dormons sous une tente » et d'autres comportant une contradiction, le dernier mot étant hors contexte, par exemple, « Demain, Paul aura dix montagnes ». Nous avons mesuré les potentiels évoqués cérébraux. Nous savions qu'un signal particulier, nommé signal N 400, est émis quand nous sommes confrontés à un mot inapproprié. Chez les aveugles, le signal N 400 est émis plus vite que chez les voyants : ils identifient plus vite l'anomalie. Nous avons observé qu'ils réagissent dès la première syllabe du mot anormal, alors que chez les sujets voyants, la réaction n'a lieu que 150 millisecondes après la fin de la phrase. Voilà pourquoi ils sont à l'aise lorsqu'ils écoutent des enregistrements en accéléré.

D'où leur vient cette faculté cérébrale hors du commun ? Nous avons observé que les ondes suscitées par l'audition du texte sont réparties dans les deux hémisphères du cerveau chez les aveugles, alors que chez les personnes voyantes seul est activé le cortex frontal gauche, situé dans l'hémisphère où siège le langage (du moins chez les droitiers). Les fonctions linguistiques des aveugles sont par conséquent moins latéralisées que pour les personnes voyantes. On a retrouvé cette caractéristique en utilisant une autre méthode et en demandant aux sujets d'analyser le sens d'une phrase.

Par imagerie par résonance magnétique fonctionnelle, qui permet de visualiser les aires cérébrales actives, nous avons étudié les mécanismes neuronaux du traitement de la parole chez nos sujets. Pour cela, nous leur avons fait écouter trois types de phrases : certaines sont compréhensibles (L'astronaute va maintenant décrire la Lune au chercheur), d'autres sont légèrement modifiées (Maintenant, la Lune est décrite au chercheur par l'astronaute) et enfin certaines phrases sont incompréhensibles (Le chercheur va maintenant déplire la mune à l'ostranaute). Chez tous les sujets, deux aires essentielles à la compréhension de la parole sont activées, d'autant plus intensément que les phrases entendues ont un sens, mais les aveugles utilisent également les régions homologues de l'hémisphère droit. Qui plus est, ils font aussi appel à des aires cérébrales supplémentaires assurant normalement le traitement d'informations visuelles *(voir la figure 2)*. Même sans stimulus optiques, leur cortex visuel est actif, assigné à de nouvelles tâches.

Jason Pearce

3. **La lecture du braille** demande une très grande sensibilité tactile. Chaque lettre est représentée par un motif de points en relief. Les professionnels du braille lisent jusqu'à 200 mots à la minute.

Une mémoire hors du commun

Si un jour vous donnez votre numéro de téléphone à un aveugle, vous aurez peut-être la chance de le voir prendre congé de vous sans même prendre note de ce numéro et sans vous demander de le répéter. La raison en est simple : il l'a retenu dès la première écoute. La cécité aiguiserait-elle aussi la mémoire ? Pour comprendre l'origine de cette mémoire étonnante, nous avons lu à des aveugles des séries de nombres, et leur avons demandé de les répéter. Nous avons observé qu'ils mémorisent davantage de nombres que les sujets voyants. Non seulement ils sont plus aptes à répéter les nombres immédiatement après les avoir entendus, mais c'est aussi le cas plusieurs jours plus tard.

Les personnes voyantes mémorisent leurs interlocuteurs surtout par leur visage. Nous pouvons reconnaître des milliers de visages, et les aveugles doivent recourir à la mémoire des sons pour pallier leur handicap : ils mémorisent les autres essentiellement par leur voix. Nous avons fait écouter, à des sujets aveugles et voyants, des enregistrements de voix de différentes personnes, puis nous avons mélangé ces voix avec de nouvelles voix qui leur étaient inconnues, avant de leur faire écouter à nouveau la bande sonore. Ils devaient reconnaître les voix entendues la première fois. Comme prévu, les aveugles ont été beaucoup plus performants. Puis, nous avons montré à un autre groupe de sujets voyants des visages sans leur faire entendre leur voix, et nous les avons mélangés à de nombreux visages inconnus ; on leur a ensuite demandé de reconnaître les visages présentés au début. En utilisant seulement la vue (on ne diffusait pas de voix), ils ont reconnu nettement plus de personnes que les aveugles sur la base des informations vocales. Ainsi, les performances auditives des aveugles ne leur permettent pas d'atteindre l'efficacité des personnes voyantes qui mémorisent les visages.

En résumé, les aveugles ont un avantage sur les personnes voyantes en ce qui concerne plusieurs des modes perceptifs élémentaires : leur ouïe est plus précise, leur compréhension de la parole est meilleure et leur mémoire plus performante. Le phénomène de substitution sensorielle, par lequel le cerveau redistribue sa puissance de calcul d'une zone désaffectée (celle de la vision) vers des zones utiles (celle de l'audition notamment), serait dû à l'étonnante plasticité cérébrale. Chez une personne voyante, les territoires des aires cérébrales auditive et visuelle restent relativement stables. En revanche, quand les neurones visuels ne sont plus stimulés par l'œil, ils cèdent du terrain aux neurones auditifs, et d'un point de vue fonctionnel, le cortex auditif étend son territoire aux dépens du cortex visuel. Sa puissance de calcul est augmentée, ce qui explique les facultés de discrimination sonore supérieures des aveugles. Ainsi, la compétition neuronale, ou recolonisation cérébrale, serait la cause de ce phénomène de substitution sensorielle chez les aveugles. ■

Entendre dans un monde virtuel

Les environnements sonores réalistes dans des scènes de réalité virtuelle offrent de nouveaux moyens thérapeutiques pour certains troubles psychiatriques et perceptifs.

Isabelle Viaud-Delmon est chargée de recherche au CNRS et à l'IRCAM, dans l'Équipe Espaces acoustiques et cognitifs, à Paris.

En Bref

- La réalité virtuelle est une méthode d'immersion dans des environnements artificiels.
- Les mondes virtuels sont généralement privés de paramètres sonores réalistes alors que l'audition est la seule modalité sensorielle qui donne des informations sur tout l'espace environnant.
- La modalité sensorielle auditive, combinée à la vision, est utilisée dans des thérapies par réalité virtuelle.

Pour tout passionné de jeu vidéo, piloter un avion de chasse, voler dans un château hanté, combattre à mains nues une escouade de monstres devient vite une seconde nature. Aujourd'hui, vous pouvez même jouer au tennis ou au golf sans frapper aucune balle réelle avec votre raquette ou votre club. Ces mondes virtuels sont numériques, reconstitués par ordinateur, mais peuvent être d'un réalisme surprenant. Dans leur forme la plus aboutie, la réalité virtuelle, le joueur est plongé dans son monde grâce à une reconstitution en trois dimensions. Lorsqu'il se déplace, son environnement est « mis à jour » en temps réel : cet arbre sur la droite qui s'efface quand il avance, le voilà de nouveau si le joueur se retourne ; ce chien qui vient vers lui grossit comme il le ferait dans la réalité. Le joueur peut manipuler et modifier les objets qui se présentent à lui, ou faire un geste pour éloigner le chien.

Cette réalité virtuelle, un oxymore introduit par l'Américain Jaron Lanier au début des années 1980, se définit comme l'ensemble des techniques et des interfaces qui immergent un utilisateur dans un environnement artificiel et lui permettent d'interagir avec lui.

L'idée de réalité virtuelle repose sur le postulat qu'il existe une réalité non virtuelle, renvoyant au monde physique. Cependant, la réalité du monde physique se réduit à la perception que nous en avons ; sa représentation peut varier d'un individu à un autre, en fonction d'un nombre infini de facteurs tels que l'attention et l'acuité des sens. La différence essentielle entre les deux types de monde, le réel et le virtuel, est liée au manque de réalisme physique et fonctionnel de ce dernier, encore bien pauvre par rapport à ce que nos organes sensoriels savent décoder, et à l'équipement technologique dont un sujet a besoin pour le percevoir.

Immersion et interaction

La réalité virtuelle a un autre inconvénient : ses applications, qu'elles relèvent du jeu, de l'apprentissage ou de l'art, reposent surtout sur notre sens de la vision, même si un certain nombre de sons sont restitués pour créer une ambiance sonore. Aujourd'hui cependant, les stimulations virtuelles qui associent vision et audition commencent à se révéler utiles en médecine, pour traiter des pathologies psychiatriques, mais aussi des troubles de la perception. Après avoir précisé les modes de fonctionnement de la réalité virtuelle et ses applications en mode purement visuel, nous examinerons comment l'audition interagit avec la vision, et comment, dès lors, ces interactions permettent d'envisager de nouveaux traitements par réalité virtuelle.

Si vous vous asseyez devant un ordinateur pour vous plonger dans un environnement artificiel, votre système perceptif n'est en général stimulé que par des informations visuelles. Qui plus est, celles-ci sont noyées parmi celles qui proviennent de l'environnement physique.


I. Viaud-Delmon/CNRS

1. Dans cette scène de réalité virtuelle, un sujet *(à droite)*, équipé d'un visiocasque et d'un gant muni de capteurs, voit un oiseau et entend le bruit de ses ailes. Il peut alors le repousser ou l'attirer de la main. L'expérimentateur *(à gauche)* peut visualiser la scène. Ce type d'expérimentation permet de tester l'influence des modes de perception sur l'action et le comportement.

Un moyen d'améliorer l'immersion est de visualiser les informations sur un écran le plus grand possible, capable de couvrir l'ensemble du champ visuel. Autre solution : le visiocasque, composé de deux mini-écrans montés sur un casque ; vous ne visualisez alors que les informations artificielles, sans être perturbé par l'environnement.

Regardez maintenant, sur un écran géant, un jeu utilisant une manette, un joystick. Est-ce de la réalité virtuelle ? Oui et non. Oui, parce que votre champ visuel est entièrement stimulé par les informations provenant de l'environnement artificiel. Non, puisque celui-ci ne stimule que votre vision et que vous ne pouvez pas interagir naturellement avec lui : il vous faut utiliser une interface – la manette de jeu – pour relayer vos actions sur le monde artificiel.

En dehors des systèmes développés dans les laboratoires de recherche, les mondes synthétiques d'aujourd'hui ne reproduisent donc que faiblement la richesse du monde physique telle que nous la percevons normalement. Toutefois, l'industrie du jeu propose désormais des outils qui nous permettent d'utiliser naturellement notre corps pour interagir avec les mondes virtuels. Une telle implication du corps garantit que les diverses situations sont à la fois intéressantes et ludiques. L'utilisateur se laisse alors facilement convaincre qu'il agit dans l'environnement virtuel et non plus dans l'environnement physique : il a un sentiment de présence dans l'environnement virtuel.

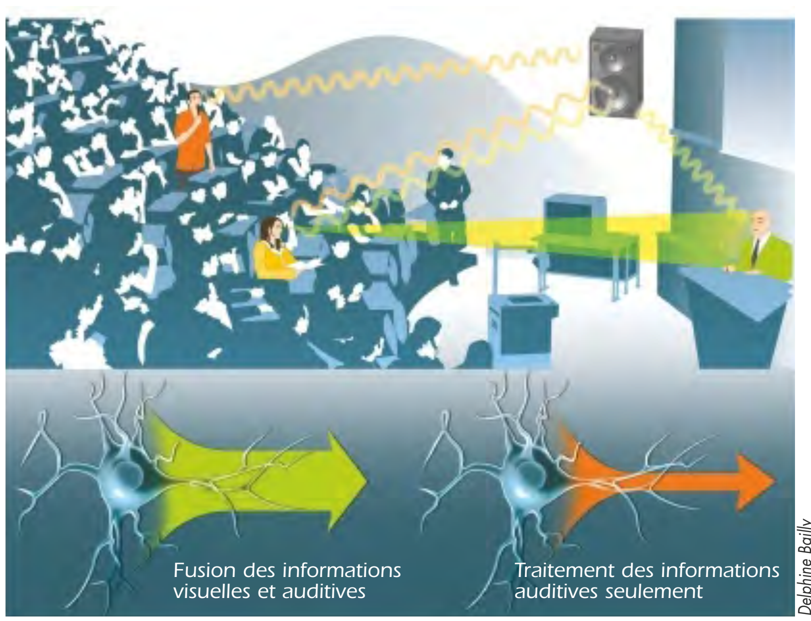
La réalité virtuelle est de plus en plus utilisée en médecine, notamment en psychiatrie. En 1994, l'équipe de Barbara Rothbaum, à l'Université Emory d'Atlanta aux États-Unis, a publié la première étude suggérant l'intérêt d'exposer des malades phobiques à des environnements virtuels. Deux groupes d'étudiants sensibles à l'acrophobie, la peur des lieux situés en hauteur, étaient comparés : les uns commençaient un traitement, tandis que les autres restaient en attente. Le traitement proposait, après une session de familiarisation avec le matériel, sept séances d'expositions progressives à différents environnements virtuels représentant des scènes de vide : un pont de hauteur variable au-dessus de l'eau, un balcon au rez-de-chaussée ou au 20e étage, ou encore un ascenseur panoramique. On évaluait le degré d'anxiété, le comportement d'évitement et l'attitude des sujets avant et après le traitement. Ces mesures ont montré une nette amélioration pour le groupe traité.

Depuis cette étude pionnière, de nombreuses recherches ont mis en évidence l'efficacité de la réalité virtuelle pour traiter différents troubles anxieux. L'acrophobie, la phobie de l'avion ou de la conduite, la phobie sociale (peur du regard des autres), la claustrophobie (peur de lieux clos), l'agoraphobie (peur des lieux ouverts et des foules) et l'arachnophobie (peur des araignées) sont couramment traitées de cette façon dans des centres médicaux aux États-Unis et dans certains pays européens. Autres indications : le stress post-traumatique, qui suit un accident, un

attentat, une guerre, etc., ainsi que certains troubles des conduites alimentaires et diverses addictions au tabac, à l'alcool, aux drogues et au jeu.

En France, par exemple, l'équipe de Patrick Légeron, à l'Hôpital Sainte-Anne, à Paris, a testé ce type de traitement sur la phobie sociale, dans le cadre du projet européen VEPSY *(Virtual Environments for Clinical Psychology)*. Un projet hospitalier de recherche clinique sur le traitement de l'agoraphobie, coordonné par Jean Cottraux, a été mené en collaboration avec le Collège de France, et testé à l'Hôpital de la Salpêtrière à Paris, au Centre hospitalier de Luxembourg et à l'Hôpital universitaire de Lyon. Ces deux projets s'accordent avec les autres études pour conclure à l'efficacité des thérapies en réalité virtuelle contre les troubles anxieux.

Aujourd'hui, les chercheurs en neurosciences étudient comment le cerveau intègre les différentes modalités sensorielles, c'est-à-dire réussit à créer une représentation cohérente d'une scène constituée par exemple d'éléments visuels, auditifs, odorants et tactiles : si vous tenez une orange dans votre main, des éléments visuels, auditifs, odorants et tactiles contribuent à vous indiquer qu'il s'agit d'une orange ; et pourtant chacune des informations est de teneur bien différente.



2. Le couplage entre un son et une image est observé dans des neurones dits multisensoriels. Lors d'une conférence, la voix de l'intervenant est amplifiée par des haut-parleurs situés derrière ou sur le côté. Pourtant, on sait très bien que la voix entendue sur le côté est celle de la personne que l'on voit parler devant soi. Les informations visuelles et auditives sont fusionnées. Dans ces conditions, les neurones multisensoriels sont très actifs *(en bas à gauche)*. En revanche, quand un auditeur prend la parole dans la salle, on ne parvient pas à le situer car sa voix est diffusée par les haut-parleurs, mais on ne le voit pas. Quand une seule modalité sensorielle est activée, les neurones multisensoriels sont peu actifs *(en bas à droite)*.

Le cerveau perçoit généralement un même objet par plusieurs canaux sensoriels. Des recherches ont montré que la fusion de deux informations peut donner lieu à une interprétation perceptive qui ne se résume pas à une simple sommation des informations, mais qui produit des illusions. Par exemple, la perception d'informations visuelles et auditives incohérentes se traduit par l'effet McGurk, découvert par les Britanniques Harry McGurk et John MacDonald en 1976 : lorsque l'on voit une bouche prononcer la syllabe /ga/ en même temps qu'on entend un stimulus composé de la syllabe /ba/, on perçoit la syllabe /da/. Il s'agit d'un son intermédiaire du point de vue phonétique. Cette illusion reflète une stratégie employée par le cerveau pour combiner les informations visuelles et auditives afin d'aboutir à une perception unique et cohérente.

L'intégration des sens

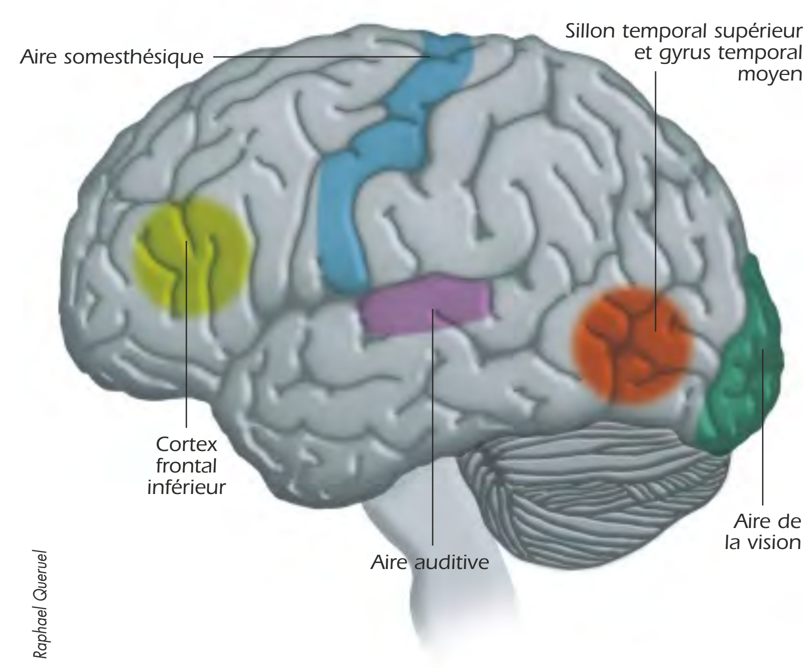
Imaginons maintenant une salle de conférence. Vous écoutez un séminaire donné par un conférencier équipé d'un micro *(voir la figure 2)*. Alors qu'il n'y a pas de correspondance spatiale entre la direction de sa voix, émise par des haut-parleurs derrière vous ou sur le côté, et sa position dans l'espace, vous savez qu'il est bien l'orateur. Les informations auditives sont couplées automatiquement par votre cerveau aux informations visuelles. C'est l'effet du ventriloque : la voix du marionnettiste et la poupée en mouvement, bien que spatialement disjoints, sont fusionnées. Vient le temps des questions, diffusées par les mêmes haut-parleurs. Une personne dans la salle prend la parole, mais vous ne la voyez pas ; vous êtes incapable d'identifier qui parle puisque votre cerveau ne peut établir de correspondance spatiale entre la direction de la voix et un indice visuel. La personne se lève et c'est alors seulement que vous l'identifiez comme étant l'orateur, grâce aux informations visuelles liées à son mouvement ; vos informations auditives vous indiquent pourtant une autre direction. Comment le cerveau trouve-t-il la correspondance auditive et visuelle appropriée pour déterminer qu'un son et une image proviennent de la même source ?

Plusieurs études ont éclairé les mécanismes en jeu. En particulier, en 1983, Barry Stein et Alex Meredith, alors à l'Université de Virginie, ont observé que les neurones d'une région cérébrale où se projettent certains axones du nerf optique, le colliculus supérieur, répondaient aussi bien à des informations visuelles qu'à des informations auditives. L'activité électrique de ces neurones,

qualifiés de multisensoriels, devient beaucoup plus importante si les deux modalités sont stimulées à peu près au même moment et selon la même direction de l'espace. L'amplitude de cet effet dépend du degré de coïncidence spatiale et temporelle entre les informations.

Le système visuel détecte avec précision la direction d'un stimulus, qui peut être représentée par deux coordonnées : l'azimut, c'est-à-dire la direction dans le plan horizontal, assimilable à un angle, et l'élévation, autrement dit la hauteur par rapport au plan horizontal (la verticale). L'œil détermine cette direction avec précision, parce que la direction sous laquelle un rayon de lumière entre dans l'œil est indiquée par le point qu'il stimule sur la rétine. En conséquence, le système visuel peut distinguer de très petits changements de direction. La plus petite différence perceptible entre deux positions visuelles est à peu près de cinq à dix secondes d'arc.

Le système auditif n'a pas cette capacité, parce que la direction du stimulus doit être calculée d'après une multitude d'indices. Un son émis sur la gauche atteint l'oreille gauche quelques microsecondes avant qu'il n'atteigne l'oreille droite, créant ainsi une différence de temps entre les deux oreilles (ou interaurale). De même, il existe des différences interaurales d'intensité à cause de l'« effet d'ombre » exercé par la tête : un son provenant de la gauche arrive plus atténué à l'oreille droite qu'à l'oreille gauche. L'azimut d'une source sonore est déterminé grâce à ces différences interaurales de temps et d'intensité, mais avec une finesse de perception bien moindre que dans le cas de la vision. Quant à l'élévation de la source sonore, le système auditif l'estime avec une précision de l'ordre d'une dizaine de degrés.



3. L'intégration sensorielle. Trois aires sensorielles primaires du cortex cérébral humain sont représentées ici : l'aire de la vision *(en vert foncé)*, l'aire somesthésique, ou aire de la sensibilité *(en bleu)* et l'aire auditive *(en violet)*. D'autres régions corticales assureraient l'intégration des informations visuelles et auditives provenant du même objet : le cortex frontal inférieur *(en vert clair)*, la partie postérieure du sillon temporal supérieur et le gyrus temporal moyen *(en orange)* et le cortex ventral occipitotemporal (près du cervelet, non représenté).

Performances du système visuel et du système auditif

Comme le système visuel est bien mieux équipé que le système auditif pour juger de la direction d'un stimulus, on pense généralement que la position d'un stimulus visuel dicte souvent la position apparente d'un stimulus auditif correspondant. Par exemple, quand on voit une moto à 100 mètres de soi dans un flot de voitures, on lui associe automatiquement le bruit qu'elle émet alors qu'il serait plus difficile de déterminer sa localisation les yeux fermés, rien qu'à son bruit.

Cependant, une étude de David Alais et Dave Burr, de l'Université de Sydney et de l'Institut des neurosciences de Pise, a suggéré que l'estimation visuelle ne détermine pas systématiquement la perception résultante. Le cerveau serait capable de pondérer les informations sensorielles selon leur qualité. Pour parvenir à cette conclusion, D. Alais et D. Burr ont demandé à des sujets d'estimer la localisation de sources sonores, puis de stimulus visuels. Ils ont ensuite proposé des stimulus visuels et auditifs de même position, ou de positions légèrement différentes. Les stimulus visuels variaient en taille, rendant leur localisation plus incertaine. Quand le stimulus visuel était très précis, les chercheurs observaient une dominance visuelle ; lorsqu'il était de grande taille, la perception auditive l'emportait. De plus, quand les stimulus auditifs et visuels étaient tous deux aussi précis, les sujets discriminaient plus finement leurs positions qu'avec un seul sens. Cela indique que l'intégration des informations spatiales visuelles et auditives améliore l'estimation de la position du stimulus. Ces observations s'accordent avec l'hypothèse que le cerveau utilise une règle statistique de combinaison optimale, reposant sur la fiabilité relative des informations sensorielles, pour combiner les signaux provenant des différents sens et pour percevoir la localisation d'un objet multisensoriel.

Peut-on utiliser ces connaissances pour améliorer les applications médicales de la réalité virtuelle ? La variété des systèmes sensoriels est actuellement peu représentée dans les mondes

Les applications de la réalité virtuelle

▪ La réalité virtuelle est utilisée dans de nombreux domaines : exploration de données scientifiques, géosciences, industries manufacturières, travail en milieu contaminé, robotique, architecture, archéologie, création artistique, architecture, entraînement à des manœuvres militaires, etc. Son utilisation médicale date des années 1990.

Bibliographie

E. Klinger et al., *Applications de la réalité virtuelle aux troubles cognitifs et comportementaux*, in *Traité de réalité virtuelle*, P. Fuchs et G. Moreau (sous la dir. de), 3e éd., vol. IV, pp. 119-145, Presses de l'École des Mines, Paris, 2006.

I. Viaud-Delmon, *Corps, action et cognition : la réalité virtuelle au défi des sciences cognitives*, in *Intellectica*, vol. 45, pp. 37-58, 2007.

B. Stein et T. Stanford, *Multisensory integration : current issues from the perspective of the single neuron*, in *Nature Rev. Neurol.*, vol. 9, pp. 255-266, 2008.

virtuels utilisés en médecine. Les sons y sont peu présents, et dépourvus des indices qui permettraient leur localisation et optimiseraient l'intégration cérébrale des informations visuelles et auditives. Ils représentent le plus souvent l'équivalent d'images bidimensionnelles apparaissant dans une simulation visuelle, comme la silhouette d'un animal qui surgirait devant un bâtiment et autour de laquelle on ne pourrait tourner. Cette pauvreté des indices auditifs est regrettable, car l'audition est la seule modalité sensorielle qui nous mette en contact avec l'espace à 360 degrés autour de nous, un espace perçu bien plus large que celui du champ de vision.

Le traitement des phobies

Puisque la modalité auditive fournit constamment des informations sur le monde environnant et la façon dont nous y évoluons, son ajout aux mondes virtuels ne peut être que bénéfique. Effectivement, lors du travail avec des patients anxieux, cet apport permet d'améliorer leur sentiment d'être présents dans l'environnement virtuel et non plus dans l'environnement réel. Pour cela, on crée des scènes sonores virtuelles en 3D en reproduisant les indices de perception sonores d'une situation réelle : ceux qui permettent la perception directionnelle horizontale, la perception directionnelle verticale et la distance du son. Une application en cours concerne le traitement de la phobie des chiens *(voir l'encadré page ci-contre)*.

Cependant, des problèmes peuvent surgir si la cohérence subjective des signaux sonores et visuels est difficile à obtenir. Dans ce cas, la nouvelle modalité sensorielle, au lieu d'enrichir l'intégration sensorielle, perturbe les sujets, car des informations non cohérentes créent une « surcharge cognitive ». De plus, les patients psychiatriques présentent souvent une hypersensibilité au bruit, alors que leurs audiogrammes sont généralement normaux. Il est ainsi nécessaire de comprendre de quelles façons la modalité auditive peut être utilisée efficacement.

Ainsi, afin de tester les réactions émotionnelles et comportementales de patients sensibles à l'espace et de sujets normaux, nous avons comparé leurs performances de navigation dans une ville virtuelle dans deux conditions d'immersion : visuelle, d'une part, bimodale, c'est-à-dire auditive et visuelle, d'autre part. Le monde visuel et le monde auditif modélisaient un environnement urbain réaliste. Cette expérience a confirmé l'importance du son 3D pour la construction d'un espace virtuel. La plupart des participants ont rapporté que l'immersion était plus convaincante lorsque la navigation était faite en condition bimodale. Cependant, plusieurs patients anxieux ont signalé qu'ils percevaient alors l'environnement visuel et l'environnement auditif séparément plutôt qu'unifiés. Cette perception décalée serait liée à une surcharge sensorielle provenant de la grande sensibilité des patients anxieux aux informations multisensorielles.

Acouphènes et réalité virtuelle






Un sujet est équipé d'un capteur manuel et d'écouteurs. En bougeant la main, il contrôle une sphère à laquelle est relié un son qui reproduit celui de l'acouphène, une perception sonore spontanée, permanente ou intermittente, souvent handicapante. La scène comporte d'autres « objets sonores » dont la localisation dans l'espace est asservie aux mouvements de la tête du sujet. Cela enrichit son environnement virtuel auditif et favorise son impression d'être immergé dans l'espace. En déplaçant la sphère, le sujet apprend progressivement à maîtriser la localisation de son acouphène. Cette impression de le maîtriser fait qu'il perd son caractère agressif. L'environnement visuel représenté ici a été développé par des étudiants de l'Université de technologie de Vienne, en Autriche, pour le développement d'un jeu.

Traiter la phobie des chiens

L'intégration d'informations visuelles et auditives permet à un sujet de maîtriser ses réactions émotionnelles lorsqu'il est exposé progressivement à des environnements où il peut rencontrer des chiens. Le sujet est équipé de lunettes polarisantes pour voir en trois dimensions et d'un capteur de position de la tête. Les informations de position de sa tête permettent d'ajuster la stéréo visuelle et les indices de localisation des sons en fonction de ses mouvements. Le sujet doit naviguer dans plusieurs scènes virtuelles, où il peut voir ou entendre surgir des chiens.

Les sources sonores fournissent des indices précis sur la localisation, quelle que soit la position du sujet dans la pièce. Il peut par exemple percevoir des chiens arriver en courant derrière lui. Une étude est menée sur ce thème dans la salle immersive de l'INRIA, à Sophia Antipolis, dans le cadre d'une collaboration entre l'équipe REVES de l'INRIA et l'IRCAM. On a d'ores et déjà pu voir que les personnes exposées à des « chiens virtuels » en ont autant peur que des chiens réels, alors qu'avant l'expérience elles pensaient que des chiens virtuels ne pourraient les effrayer !



Nous avons en outre observé que des patients anxieux peuvent parfaitement naviguer dans un environnement uniquement auditif, en l'absence d'informations visuelles. Ils souhaitent alors rester longtemps dans cet environnement qu'ils jugent réaliste, afin de l'explorer à leur aise. Quand on leur demande de replacer sur une carte différentes sources sonores qu'ils ont croisées durant leur navigation virtuelle, ils réussissent sans erreur. Ces résultats suggèrent qu'il pourrait être préférable, pour le traitement de certains cas pathologiques, non de copier la réalité le plus fidèlement possible, mais au contraire de créer un environnement simplifié qui permette au sujet de s'engager dans la tâche dont dépend le succès du traitement.

Une autre application de l'intégration visio-auditive concerne le traitement des troubles perceptifs, tels les acouphènes. Un acouphène est une perception sonore permanente ou intermittente (sifflement, bourdonnement) qui surgit indépendamment d'un son extérieur. Le plus souvent, on en ignore la cause et on sait mal le traiter. Près de 15 pour cent des Français en seraient atteints, et on estime à 300 000 le nombre de personnes pour lesquelles ce son, quand il devient permanent, est intolérable. Une collaboration entre l'IRCAM et le Service d'ORL de l'Hôpital européen Georges Pompidou, à Paris, est en cours afin de valider l'utilisation clinique d'un monde virtuel grâce auquel les patients apprendraient à mieux maîtriser cette perception *(voir l'encadré page 84)*.

Le patient est immergé dans une scène virtuelle visuelle simple. Dans un premier temps, on a préalablement déterminé les caractéristiques sonores de l'acouphène du patient, c'est-à-dire l'amplitude et les fréquences du son perçu. Un son identique est alors recréé à partir de ces caractéristiques. Dans la scène virtuelle, il est localisé dans l'espace et relié à un objet. Le patient apprend à le déplacer par l'intermédiaire d'un capteur manuel. En déplaçant l'objet associé au son représentant l'acouphène, le patient réussit progressivement à l'éloigner et à maîtriser sa localisation. Le but théorique est de rendre « évident » le caractère purement « illusoire » de la perception en lui faisant perdre ainsi son caractère agressif. L'essai clinique est terminé, et l'on attend la fin de l'évaluation de patients qui ont suivi ce traitement pour valider l'efficacité de la méthode. ■

Je déteste cette musique

Stéphanie Khalfa est chargée de recherches à l'Institut des Neurosciences de la Méditerranée, INCM, CNRS UMR 6193, à la Faculté de Médecine Timone, Université de la Méditerranée..

L'imagerie cérébrale a révélé que des aires différentes sont activées selon que la musique est gaie, triste, agréable, angoissante ou encore dissonante. On comprend mieux pourquoi l'on frissonne… d'angoisse ou de plaisir.

En Bref

- La tristesse serait traitée par les deux hémisphères, la gaieté plutôt par des aires de l'hémisphère gauche.
- L'amygdale cérébrale permettrait de reconnaître les musiques effrayantes.
- Le cortex parahippocampique est le principal « détecteur de dissonance ».
- Les émotions négatives, telles que déplaisir, angoisse ou tristesse, ne sont pas traitées par les mêmes aires cérébrales.

En matière de goûts musicaux, il faut parfois se faire une raison. Quand on aime, tant mieux, mais lorsqu'on n'aime pas…, il ne reste qu'à supporter les accords stridents d'une chanson insupportable, en priant pour que cela ne dure pas trop longtemps. Mais qu'est-ce qui cause autant de déplaisir lorsque nous entendons tel ou tel accord dissonant ? Les scientifiques essaient aussi de comprendre ce qui nous procure du plaisir lorsque nous écoutons nos extraits favoris.

Les réactions du cerveau au déplaisir musical ont été étudiées grâce au modèle de la dissonance, où l'on fait entendre deux notes très rapprochées. Du point de vue des psychoacousticiens (notamment le pionnier allemand du XVIIIe siècle Hermann von Helmholtz), la dissonance résulterait du faible pouvoir de résolution de l'oreille qui ne pourrait pas séparer des notes trop proches en fréquence. Des recherches ont été menées pour étudier les corrélats neuroanatomiques de la dissonance et donc du déplaisir en musique. En premier lieu, il apparaît que le cortex auditif est impliqué dans l'analyse perceptive de la dissonance ; cependant d'autres structures sont plus spécifiquement impliquées dans le déplaisir lui-même.

À l'Université de Montréal, en utilisant la tomographie par émission de positons, l'équipe du neurologue Robert Zatorre a enregistré les réponses cérébrales de sujets écoutant des versions plus ou moins dissonantes d'une même musique. Il a constaté que l'activité du gyrus parahippocampique droit (une zone située dans la partie temporale du cerveau) augmente avec le degré de dissonance ; en revanche, l'activité du cortex orbitofrontal, du cingulum médian et du cortex frontopolaire diminue lorsque le degré de dissonance s'accroît.

Une zone du déplaisir

L'augmentation du débit sanguin cérébral dans le gyrus parahippocampique a déjà été observée lorsqu'on provoque des émotions désagréables à l'aide d'images véhiculant des émotions négatives, par exemple des photographies de personnes accidentées. Ainsi, cette structure réagit de façon générale au déplaisir, que ce soit dans le domaine musical ou visuel. Il est probable que l'activité conjointe du cortex auditif et de cette zone du déplaisir confère la sensation particulière « d'entendre un son désagréable ». Les autres structures dont l'activité faiblit quand le plaisir (consonance) diminue sont connues pour leur rôle dans les processus émotionnels en général : identification d'une expression émotionnelle, maîtrise des émotions que l'on peut ressentir dans diverses situations, prise de décision en fonction d'un contexte émotionnel...

Stefan Koelsch et ses collègues de l'Institut Max Planck de Leipzig en Allemagne ont utilisé la méthode d'imagerie fonctionnelle par réso-

nance magnétique pour enregistrer les activations cérébrales associées à l'écoute de musiques agréables (possédant beaucoup d'accords dits consonants, par exemple *do-sol*) ou très désagréables (*do-ré* ou *do-do* dièse). Comme précédemment, les musiques dissonantes, contrairement aux musiques consonantes, font intervenir le gyrus parahippocampique. D'autres structures semblaient également activées, telles que le complexe amygdalien (ou amygdale cérébrale), l'hippocampe et les pôles temporaux.

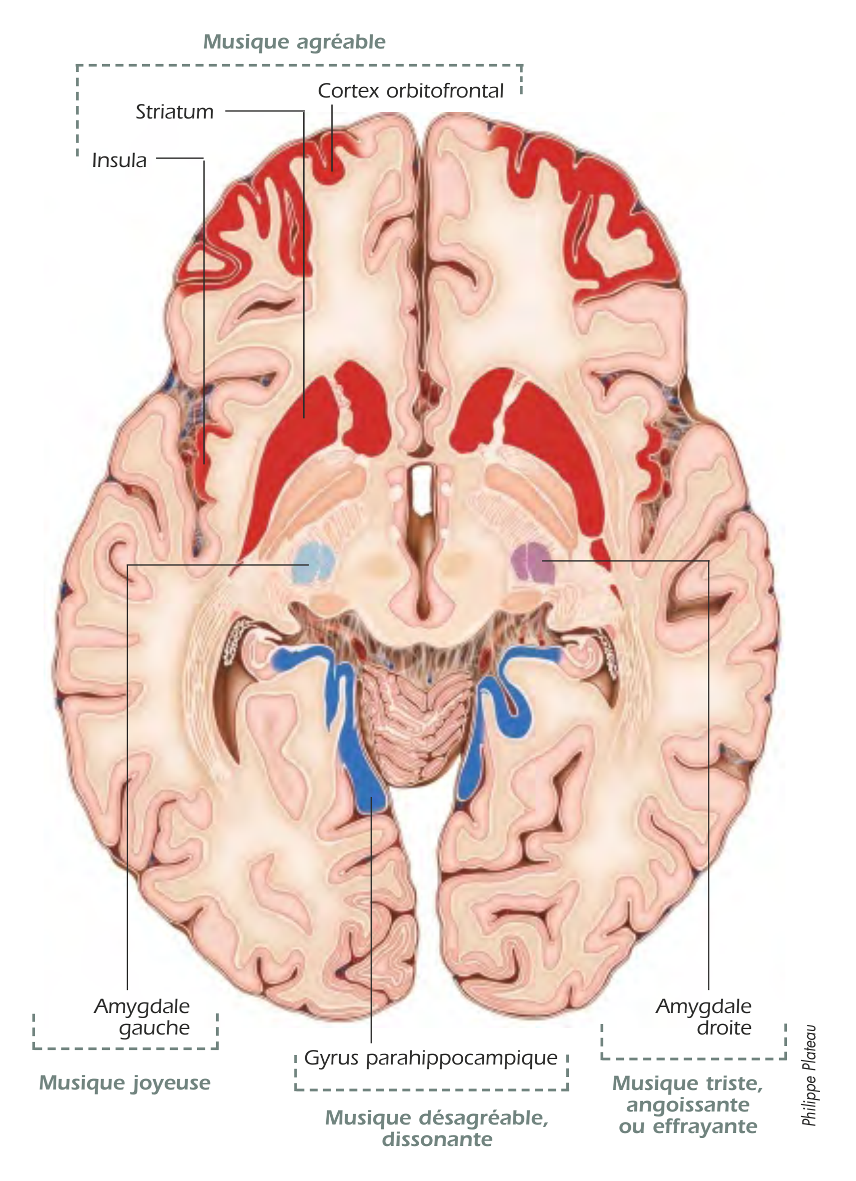
L'amygdale est un relais important des émotions dans le cerveau, et intervient dans la perception de la peur. L'hippocampe est une zone cruciale intervenant dans la plupart des mécanismes liés à la mémoire et au contexte émotionnel de la mémorisation, ainsi que dans la régulation des états émotionnels. En ce qui concerne les pôles temporaux, il a déjà été montré leur implication dans le traitement de stimulus acoustiques à connotation émotionnelle négative, par exemple un cri.

Alors, le déplaisir est-il lié à l'activation du gyrus parahippocampique, ou à celle de l'amygdale, éventuellement celle de l'hippocampe et des pôles temporaux ? Afin d'étudier plus précisément cette question, une étude neuropsychologique a été conduite par Nathalie Gosselin et Isabelle Peretz à Montréal et Séverine Samson à Paris sur des patients épileptiques opérés à la Pitié-Salpêtrière. Dix-sept patients avaient subi une ablation totale d'une des deux amygdales cérébrales, et une ablation plus ou moins importante de structures adjacentes, l'hippocampe, et les cortex parahippocampique, entorhinal et périrhinal. L'équipe a évalué dans quelle mesure ils étaient capables d'éprouver du plaisir ou du déplaisir en écoutant de la musique.

Pour cela, des extraits gais étaient joués en mode majeur à un tempo rapide, tandis que des extraits tristes l'étaient en mode mineur, à un tempo lent. Des modifications d'un demi-ton de ces mêmes extraits ont rendu ces musiques dissonantes, c'est-à-dire vraiment désagréables. Les évaluations émotionnelles des patients en fonction de l'étendue des lésions cérébrales ont permis de mettre en évidence que le cortex parahippocampique est une structure essentielle au déplaisir musical, davantage que l'hippocampe, l'amygdale et le pôle temporal. En effet, plus la zone retirée du cortex parahippocampique était importante, plus les patients étaient indifférents à la dissonance, même s'ils reconnaissaient que la musique était dissonante.

On le voit, les données scientifiques entourant la perception du déplaisir liée à la dissonance dans la musique sont diverses et parfois


Alistair Cotton / Shutterstock



Le caractère plaisant d'une musique, la tristesse ou la joie qu'elle véhicule, ou encore le fait qu'elle effraye ou gêne par ses accords dissonants, activent autant d'aires cérébrales différentes.

difficiles à concilier ; il semble pourtant que le gyrus parahippocampique soit un pivot important du déplaisir lié à la dissonance, davantage que l'amygdale, notamment. Comme nous le verrons, cela ne signifie pas que l'amygdale n'ait pas son rôle à jouer dans la perception des émotions négatives dans la musique. Il va simplement falloir établir des distinctions entre déplaisir, tristesse et angoisse.

Vous vous souvenez sûrement des coups d'archets insoutenables de la musique du film de Hitchcock, *Psychose*, lors de la scène de la douche où une femme se fait assassiner à coups de couteau. Que se passe-t-il alors, lorsque vous écoutez une telle musique effrayante ou angoissante ? Il semble que l'amygdale cérébrale joue alors un rôle prépondérant : dans une autre étude menée à l'Hôpital de la Pitié-Salpêtrière à Paris, 16 patients épileptiques ont subi une ablation chirurgicale unilatérale droite ou gauche, à visée thérapeutique, des structures temporales internes incluant l'amygdale cérébrale (rappelons qu'elle traite les émotions négatives et la perception de la peur). Ces patients cérébrolésés identifiaient moins bien les musiques effrayantes que des sujets témoins. On connaissait déjà le rôle joué par l'amygdale dans la perception de l'expression de peur sur les visages : elle sous-tend aussi la perception de la peur dans la musique. Ainsi, la musique désagréable ou effrayante utilise des centres cérébraux qui suscitent habituellement des émotions déplaisantes, par exemple la peur des araignées…

Une musique qui glace le sang

Au-delà du déplaisir causé par une musique dissonante, ou de la peur inspirée par des extraits de films d'angoisse, la musique est traversée par des moments de gaieté et de tristesse. Quelles parties du cerveau reconnaissent ces émotions véhiculées par le flux sonore ?

À l'Hôpital de la Timone à Marseille, notre équipe a fait écouter des musiques gaies et tristes à 14 patients opérés d'une épilepsie temporale droite, ainsi qu'à 12 autres patients opérés d'une épilepsie temporale gauche. Chez les patients du premier groupe, les structures temporales internes antérieures (l'amygdale, l'hippocampe, le gyrus parahippocampique et le pôle temporal antérieur) avaient été retirées du côté droit. Elles avaient été retirées du côté gauche chez les patients du second groupe.

Qu'ils aient été opérés des structures temporales droites ou gauches, les patients reconnaissaient moins bien la tristesse véhiculée par la musique. En revanche, seuls les patients opérés à gauche identifiaient moins bien la gaieté des extraits. Ainsi, les zones antéromésiales droites (qui comprennent l'amygdale, le gyrus parahippocampique, le pôle temporal antérieur et l'hippocampe) seraient plus sensibles aux *Nocturnes* de Chopin (imprégnés de tristesse) et les mêmes zones du côté gauche seraient plus sollicitées par les concertos pour piano de Mozart qui alternent souvent gaieté et gravité.

Au sein de ces zones, l'amygdale est vraisemblablement un chef d'orchestre de la reconnaissance de la tristesse dans la musique. Ainsi, la reconnaissance de la tristesse (et de la peur) n'est pas prise en charge par les mêmes zones cérébrales que la perception du déplaisir liée à la dissonance, lequel fait davantage intervenir le gyrus parahippocampique. De telles observations mon-

trent que la reconnaissance des émotions d'origine auditive nécessiterait des amygdales intactes. En tout état de cause, cette étude indique que le traitement des émotions liées à la musique ou à d'autres déclencheurs affectifs est réalisé tantôt par des zones de l'hémisphère droit, tantôt par des zones de l'hémisphère gauche, ou encore les deux ensemble, la tristesse étant traitée aussi bien par l'hémisphère droit que par le gauche.

Les émotions créées par une électrode

On savait l'amygdale gauche impliquée dans la perception des émotions positives et négatives au sens large, notamment les émotions suscitées par les expressions du visage. De plus, l'asymétrie fonctionnelle temporale observée pour la reconnaissance des émotions musicales concorde parfaitement avec les résultats d'une des études que nous avons faites il y a quelques années. À l'Hôpital de la Timone, nous avons implanté des électrodes dans l'amygdale de patients épileptiques au cours d'un bilan préopératoire. Dans cette situation, on pratique un tout petit trou dans la boîte crânienne des patients ; on peut implanter les électrodes dans cette zone du cerveau, et envoyer des impulsions électriques du côté gauche ou droit de l'amygdale. Le patient est éveillé et peut dire quel type d'émotion il ressent.

Nous avons constaté que, lorsque ces stimulations sont exercées sur l'amygdale gauche, le patient ressent tantôt des émotions positives (gaieté), tantôt des émotions négatives (peur, tristesse, anxiété). L'émotion ressentie est apparemment fonction de l'endroit où est implantée l'électrode, et pourrait résulter du fait que l'amygdale est constituée de différents noyaux, chacun pouvant participer à une émotion différente ; toutefois, on manque encore de données pour attribuer telle émotion à tel ou tel noyau du complexe amygdalien. En revanche, si nous stimulons l'amygdale du côté droit, le patient ne ressent que des émotions négatives. Voilà qui confirme la spécialisation de l'hémisphère droit dans les émotions négatives, et la relative polyvalence émotionnelle de l'amygdale gauche. Il est donc probable que le phénomène de latéralité dans la reconnaissance émotionnelle soit plus spécifiquement relié à l'amygdale qu'aux structures adjacentes ayant aussi fait l'objet d'une ablation chez les patients épileptiques.

D'autres équipes se sont concentrées sur l'étude des structures cérébrales associées au plaisir lié à l'écoute de la musique, au frisson que l'on peut connaître en écoutant un mouvement grandiose d'une symphonie ou d'un air d'opéra. Les musiques non familières, mais agréables, activent des aires émotionnelles limbiques et paralimbiques. Lorsque des musiques familières évoquent des émotions assez fortes pour provoquer des frissons de plaisir, les structures cérébrales associées aux circuits de récompense sont activées (le circuit de la récompense est un ensemble de zones cérébrales qui s'activent lorsque l'on ressent du plaisir ou que l'on reçoit des gratifications lors d'un apprentissage). Plus précisément, le débit sanguin cérébral augmente dans le striatum ventral gauche (le striatum comportant des structures telles que le putamen, le noyau caudé ou le pallidum) et le tronc cérébral dorsomédian, et diminue dans les amygdales droite et gauche, l'hippocampe gauche et le cortex préfrontal ventromédian.

Cette dernière observation peut sembler déroutante, car nous avions mentionné le fait que l'activité de l'amygdale gauche augmente lorsque l'on perçoit de la gaieté... Mais l'identification de la gaieté dans un mouvement *allegro* n'est pas équivalente au fait d'éprouver du plaisir à écouter une mélodie. D'ailleurs, le plaisir intense, ce moment où l'on a la chair de poule, peut aussi bien s'éprouver lors d'un passage triste que lors d'un passage gai. Dans sa composante cérébrale, le plaisir doit ainsi être dissocié de l'ambiance musicale.

Après l'angoisse, le plaisir

Dans l'expérience précédente, des régions paralimbiques telles que l'insula et le cortex orbitofrontal, étaient également activées. Le motif d'activation cérébrale observé lorsque les sujets frissonnent de plaisir est proche de celui observé dans des conditions d'euphorie, suite à l'administration de cocaïne chez des sujets dépendants. De plus, les diminutions d'activité dans l'amygdale et l'hippocampe pourraient être mises en relation avec le rôle de ces structures dans le traitement des émotions et du système de récompense, puisque l'administration de drogues, ou le simple fait de ressentir un intense plaisir gustatif ou sexuel, s'accompagne généralement d'une baisse d'activité dans l'amygdale.

Résumons toutes ces données : les émotions positives sont « latéralisées » (elles activent plutôt des aires de l'hémisphère gauche du cerveau), tandis que les émotions négatives semblent faire intervenir les deux hémisphères. Par ailleurs, le cerveau réagit de plusieurs façons en écoutant de la musique : certaines zones identifient les sentiments véhiculés par la musique, d'autres associent des sentiments à cette musique, que ce soit du plaisir... ou du déplaisir ! ■

Bibliographie

S. Khalfa et al., *Evidence of lateralized anteromedial temporal structures involvement in musical emotion processing*, in *Neuropsychologia*, vol. 46(10), pp. 2485-93, 2008.

L. Lanteaume et al., *Emotion induction after direct intracerebral stimulations of human amygdala*, in *Cerebral Cortex*, vol. 17, pp.1307-13013, 2007.

N. Gosselin et al., *Emotional responses to unpleasant music correlates with damage to the hippocampal cortex*, in *Brain*, vol. 129, p. 2585, 2006.

S. Koelsch et al., *Investigating emotion with music : an fMRI study*, in *Human Brain Mapp*, vol. 27, p. 239, 2006.

A. Blood et R. Zatorre, *Intensely pleasurable responses to music correlate with activity in brain regions implicated in reward and emotion*, in *PNAS*, vol. 98, p. 11818, 2001.

Musique contemporaine : un défi pour le cerveau

Emmanuel Bigand dirige le Laboratoire d'étude de l'apprentissage et du développement, UMR 5022, à l'Université de Bourgogne, à Dijon, où travaille **Philippe Lalitte**, musicologue.

Si la musique contemporaine déroute, c'est que notre cerveau n'y est pas habitué. Une écoute répétée permettrait de nous familiariser – sans que nous n'en ayons conscience – avec la façon dont cette musique est construite. Apprécierons-nous, un jour, autant Stockhausen que Mozart ?

En Bref

- Par le biais de l'apprentissage implicite, c'est-à-dire la faculté d'apprendre sans en avoir conscience, on se familiarise même avec les types de musique inconnus.
- Le cerveau et l'oreille s'habituent progressivement à la musique contemporaine.
- Cette habituation se fait par l'intermédiaire de la musique de films notamment.
- Cette confrontation avec de nouveaux langages musicaux fait évoluer nos habitudes perceptives.

Pour la plupart d'entre nous, la musique est un magnifique divertissement qui agrémente nos activités quotidiennes et nos relations sociales. Se réduit-elle pour autant à cela ? Il semble que notre époque ait oublié les vertus mobilisatrices de la musique pour l'intellect au profit de ses seuls aspects hédonistes. Pourtant, dès l'Antiquité, les Grecs accordaient à la musique une valeur formatrice. Elle faisait partie de l'idéal éducatif de tout homme libre. Cette relation entre musique et intellect s'est poursuivie d'une façon ou d'une autre pendant toute l'histoire de la culture occidentale. L'essor des sciences du cerveau nous permet-il aujourd'hui de mieux éclairer ces relations entre musique et esprit ?

Il est avéré que la musique modifie l'organisation cérébrale de ceux qui l'écoutent et la pratiquent intensément, et que cette modification entraîne des effets positifs pour l'acquisition de nombreuses aptitudes cognitives. Toutes les musiques ont-elles pour autant le même pouvoir stimulant pour les activités intellectuelles ? Il ne s'agit pas d'entrer ici dans un débat normatif qui séparerait la « bonne » de la « mauvaise » musique, mais d'essayer de comprendre les relations entre musique et compétence cognitive, entre musique et cerveau.

Le cas de la musique contemporaine semble particulièrement intéressant. Cette musique est si déroutante pour nos habitudes d'écoute, qu'on la dit dépasser l'entendement humain. En prenant à revers le sens commun, elle lance un défi au cerveau, défi dont certains doutent qu'il puisse jamais être relevé. Peut-on imaginer que l'on écoutera Boulez et Stockhausen dans quelques décennies avec autant d'aisance que nous écoutons Mozart et Ravel ? C'est ce que nous allons examiner.

Comment passer de Bach à Stockhausen ?

On désigne couramment par musique contemporaine, la musique savante (par opposition à la musique populaire) composée depuis 1945. La musique née de l'avant-garde des années 1950 a longtemps marqué les esprits parce qu'elle rompait totalement avec le passé. Après la Seconde Guerre mondiale, les compositeurs ont ressenti le besoin d'un langage musical neuf. Ils ont donc rejeté une bonne partie des principes qui gouvernaient la composition depuis le XVIIe siècle, notamment la présence d'une mélodie identifiable, la régularité rythmique et l'organisation des sons par des tonalités (*do* majeur, *la* mineur,


©Rubberball Productions / Cerveau & Psycho

etc.). C'est tout d'abord en reprenant et en radicalisant le système sériel que des musiciens tels Pierre Boulez, Karlheinz Stockhausen, Henri Pousseur ou Luigi Nono ont renouvelé les concepts de base de la musique occidentale *(voir l'encadré page 92)*.

Dans les années 1920, c'est le compositeur autrichien Arnold Schönberg (1874-1951) qui, après une période de composition libre, a défini le système sériel. Ce système ordonne les 12 notes de la gamme chromatique (*do*, *do* dièse, *ré*, *ré* dièse, etc. jusqu'à *si*) sans faire appel à une hiérarchie entre les sons, contrairement à la musique tonale (dans la tonalité de *do* majeur, *do* et *sol* ont plus de poids que les autres notes). Les notes sont ordonnées en fonction d'intervalles choisis au préalable par le compositeur. Cette série de 12 notes et ses transformations servent de matériau de base à la pièce.

De violentes critiques se sont élevées pour dénoncer l'opacité perceptive des structures produites par un tel système. Avait-on vraiment dépassé les limites de la perception en créant des structures sonores d'une complexité telle que même les plus grands experts ne pouvaient plus différencier l'organisé de l'aléatoire ? Le psychologue français Robert Francès a fait, dans les années 1960, une étude expérimentale surprenante montrant que si l'on composait une œuvre de musique contemporaine sérielle dans laquelle on plaçait volontairement des extraits d'une autre œuvre sérielle, on ne créait aucun sentiment d'incongruité chez les auditeurs. Qui plus est, les spécialistes de ce style de musique ne distinguaient pas mieux ces extraits incongrus que les auditeurs sans aucune formation musicale. En 1990, R. Francès a refait cette expérience avec des auditeurs qui avaient eu le temps d'assimiler le langage de la musique sérielle. Les résultats furent identiques, suggérant que le temps n'avait rien fait à l'affaire. Le psychologue en conclut qu'une musique composée en dépit de certaines contraintes fondamentales, propres au fonctionnement du cerveau humain, reste pour toujours en dehors de l'entendement.

1. Peut-on écouter la musique contemporaine avec la même aisance que celle de Mozart ou de Beethoven ? Ce ne serait qu'une question de temps, puisque le cerveau en intègre progressivement les structures.

En un demi-siècle, le paysage de la musique contemporaine s'est diversifié. Aujourd'hui, des esthétiques opposées cohabitent dans des univers plus ou moins perméables tant et si bien qu'on ne peut plus parler de la musique contemporaine, mais des musiques contemporaines. Les champs d'innovation et les univers sonores sont multiples : intégration de modèles mathématiques pour la composition, nouveaux modes de jeux instrumentaux, projection du

son dans l'espace, instruments acoustiques traditionnels mêlés aux instruments électriques et électroniques, aux sons enregistrés ou synthétisés par ordinateurs, etc. Toutes ces innovations, ces nouvelles sonorités, ces nouveaux systèmes déroutent nos habitudes d'écoute. De nombreux compositeurs, sensibles aux aspects perceptifs de la musique, intègrent dans leurs systèmes de composition certaines contraintes cognitives et « manipulent » le cerveau musical.

Ainsi, la pièce pour clavecin *Continuum* (1968) de György Ligeti n'est écrite qu'avec une seule valeur rythmique répétée régulièrement à un tempo extrêmement rapide *(voir la figure 2)*. Cependant les changements de hauteurs introduits de façon imprévisible suggèrent à notre perception des groupements par deux, trois ou quatre notes qui contredisent la régularité rythmique réelle. Comme ces changements ne sont pas effectués au même moment à la main droite et à la main gauche, il en résulte des accents qui brisent la périodicité. Ce processus, varié tout au long de la pièce et modulé par des changements de registres, produit des illusions auditives dont le résultat esthétique est indiscutable.

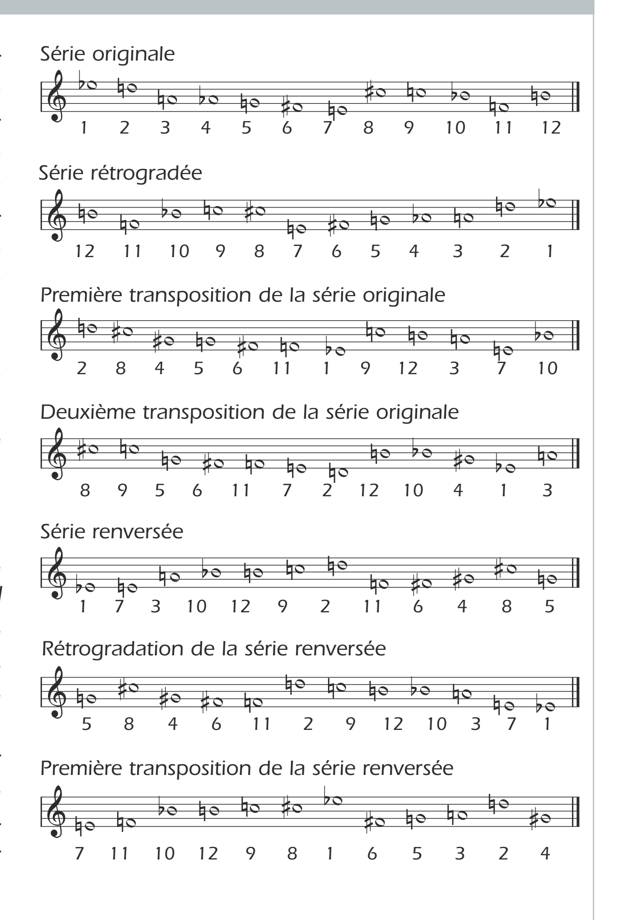
Jean-Claude Risset, qui a reçu la médaille d'or du CNRS en 1999, a synthétisé des sons qui semblent monter ou descendre indéfiniment à la façon de l'escalier d'Escher. Le compositeur a montré que l'on crée de telles ambiguïtés perceptives lorsque l'on synthétise le son en faisant varier de façon inverse la hauteur tonale (la note définie par sa fréquence fondamentale) et la hauteur spectrale (la brillance du son qui donne l'illusion qu'une même note jouée par un cor est plus haute que si elle est jouée par un trombone). Il ne s'agit cependant pas de simples effets sonores destinés à impressionner l'auditeur. Les paradoxes sonores introduits par J.-Cl. Risset dans ses pièces le sont toujours en fonction de nécessités esthétiques. Il a ainsi réalisé des sons hybrides (par exemple un chant d'oiseau hybridé avec un carillon de métal). Dans son œuvre *Sud* (1985), il nous fait pénétrer dans un univers où se mêlent oiseaux de métal, grillons de bois et vagues musiciennes.

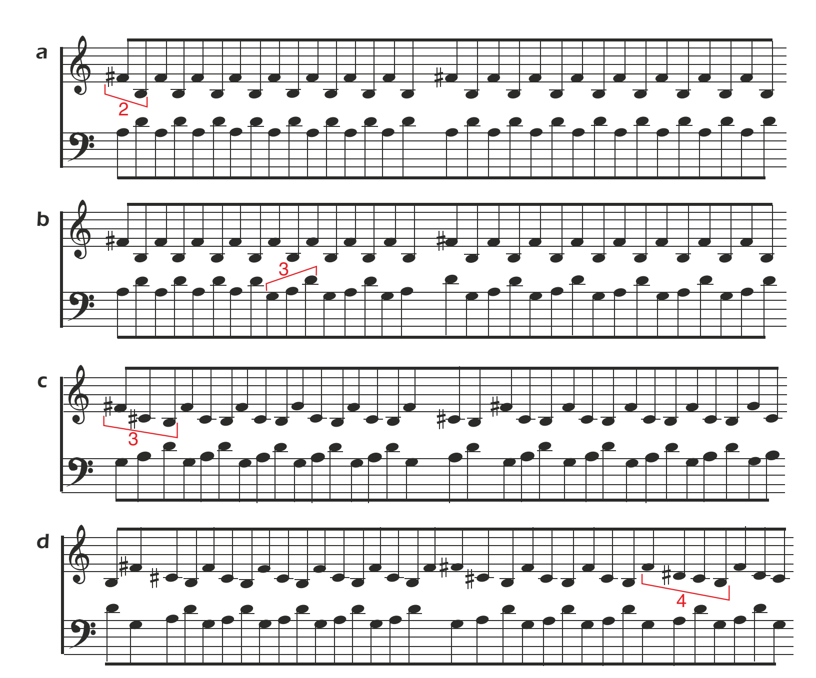
Ces exemples ont montré comment les compositeurs conjuguent innovations stylistiques et jeux perceptifs. Cependant, comment les auditeurs perçoivent-ils ces innovations ? La ques-

Le système sériel

Le système sériel permet d'organiser les 12 sons de la gamme chromatique (*do*, *do* dièse, *ré*, *ré* dièse, etc.) sans hiérarchie entre les sons (toutes les notes ont la même importance). Une série est une succession de hauteurs et d'intervalles. Il existe, en principe, 48 variantes pour chaque série : la série originale, la rétrogradation (la série lue de 12 à 1), le renversement (les intervalles montants deviennent descendants et *vice versa*), la rétrogradation du renversement et les 12 transpositions de ces quatre formes. La première transposition de la série est obtenue en abaissant chaque note d'un demi-ton. La deuxième transposition est obtenue en abaissant chaque note de la première transposition d'un demi-ton (soit en abaissant chaque note de la série initiale d'un ton), etc.

Dans l'exemple ci-contre, la série est celle employée par Pierre Boulez dans *Structures pour deux pianos* (1956, révisé en 1961). La première portée correspond à la série originale ; la deuxième à la rétrogradation ; la troisième à la première transposition de cette série, un demi-ton plus bas. Ainsi la note 1 *(mi* bémol*)* devient un *ré* bécarre (2), la 2 *(ré* bécarre*)* devient un *do* dièse (8), la 3 *(la bécarre)* un *sol* dièse (4), le *la* bémol (4) un *sol* bécarre (5), etc. La quatrième portée correspond à la deuxième transposition de la série, un ton plus bas (ou un demi-ton plus bas que la première transposition), la cinquième est le renversement, la sixième la rétrogradation du renversement et la septième, la première transposition de la série renversée. On peut ainsi construire 48 variations de la série d'origine (y compris la série elle-même). On peut représenter toutes ces séries sous forme de matrices, après avoir attribué un chiffre à chaque note et passer aisément d'une transformation à l'autre.





2. *Continuum pour clavecin* (1968) de György Ligeti. Au début, la main droite et la main gauche jouent des croches par groupes de deux notes *(a)*. Cette régularité est brisée lorsque la main gauche *(b, la clé de fa)* introduit un groupe de trois notes, puis retrouvée lorsque la main droite *(c, la clé de sol)* introduit, elle aussi, un groupe de trois notes, et ainsi de suite : la main droite introduira des groupes de quatre croches, puis sera rattrapée par la gauche.

tion a été et reste débattue par les musicologues, les critiques et les spécialistes de la cognition. Depuis les premières études de R. Francès, la psychologie de la musique s'est considérablement développée et il existe aujourd'hui suffisamment d'études comportementales sur la perception de la musique contemporaine pour tenter une ébauche de réponse à cette question. Deux domaines ont été particulièrement étudiés : la perception de la syntaxe (l'organisation des hauteurs) et de la forme (l'enchaînement des structures temporelles).

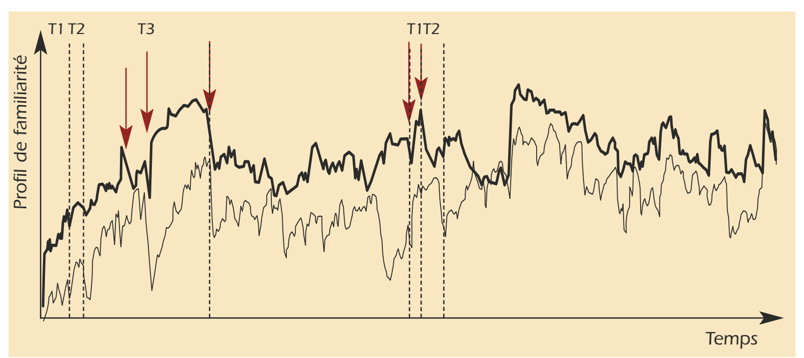
L'apprentissage implicite de la musique

Parmi les différents systèmes de musique contemporaine, le système sériel semble bien être celui qui a poussé le plus loin le défi lancé au cerveau humain. Bien que ce système ne soit plus aujourd'hui le seul employé par les compositeurs, c'est celui qui a été le plus étudié par les psychologues. Les œuvres musicales sérielles sont souvent perçues, de prime abord, comme chaotiques. Pouvons-nous nous frayer un chemin dans un tel environnement sonore ? En 1987, une étude a apporté des éléments en faveur de la pertinence psychologique des règles de la musique sérielle. Les expériences ont été réalisées avec des stimulus simplifiés tirés du *Quintette à vent opus 26* et du *Quatuor à cordes opus 37* de Schönberg. Les sujets (des musiciens) ont réussi, après avoir été longuement exposés à la série originale, à discriminer ses transformations, avec 60 à 85 pour cent de réponses correctes.

La question de la perception de la musique sérielle a été abordée par le biais de l'apprentissage implicite, c'est-à-dire de notre capacité d'apprendre, sans que nous n'en soyons conscients, des informations complexes. L'apprentissage implicite se fait à l'insu du sujet et la connaissance acquise est difficilement exprimable. Plusieurs études d'apprentissage implicite de la musique ont été rapportées. Ainsi, Zoltàn Dienes et Christopher Longuet-Higgins, de l'Université du Sussex, ont testé la capacité à apprendre implicitement les transformations d'une série de 12 sons.

Durant une phase d'apprentissage, les sujets ont écouté 50 séquences correspondant à un seul type de transformation (par exemple, une inversion). Dans la phase de test, les sujets ont entendu 50 nouvelles séquences dont la moitié ne correspondait à aucune des transformations entendues dans la phase d'apprentissage. Les sujets non musiciens n'ont pas été capables de distinguer, de façon significative, les transformations. Les sujets musiciens en ont reconnu certaines. L'expérience a été renouvelée avec un expert (un interprète familier de cette musique) à qui l'on a explicité la nature des transformations, c'est-à-dire qu'on lui a indiqué le type de transformations à repérer. Les résultats obtenus, cette fois-ci, ont été largement supérieurs au hasard : les participants sans formation spécialisée à cette musique ne réussissent pas à apprendre implicitement les structures de la musique sérielle ; les participants ayant déjà été exposés à cette musique (sans être experts) perçoivent implicitement certaines transformations ; les sujets experts identifient toutes les transformations.

L'équipe de l'un d'entre nous (Emmanuel Bigand) a étudié la nature implicite ou explicite aussi bien que la teneur abstraite de la connaissance acquise lors d'un apprentissage de pièces sérielles par des sujets experts ou non. Les stimulus étaient constitués de courtes pièces pour piano composées spécialement par le compositeur Daniel d'Adamo. À la différence de l'étude précédente, les stimulus étaient de réelles pièces de musique, pas simplement des suites de notes régulièrement espacées. Après une phase d'apprentissage (écoute de 20 pièces), les sujets ont dû différencier deux ensembles de pièces construites sur le même patron rythmique, mais dont les séries étaient différentes. Les sujets – musiciens et non musiciens – ont réussi



3. Les réactions des auditeurs à la pièce de Roger Reynolds *The Angel of Death* ont été enregistrées en temps réel pendant un concert à Paris *(trait épais)* et à San Diego *(trait fin)*. On leur demandait d'indiquer au moyen d'un curseur leur sentiment de familiarité vis-à-vis de l'œuvre écoutée, c'est-à-dire s'ils reconnaissaient des fragments déjà entendus. Ce profil de familiarité révèle les moments où les auditeurs sont déroutés par un nouveau thème. À chaque apparition d'un nouvel élément thématique *(les flèches)*, le profil s'infléchit, ce qui indique que les auditeurs se sentent moins familiers avec la musique. Le profil de la deuxième partie de la pièce (lorsque les éléments T1, T2, etc., reviennent) est globalement plus élevé, indiquant que les auditeurs se sont familiarisés avec les thèmes. Les résultats des deux expériences sont proches, malgré les différences de salles, de public et d'interprètes.

le test, sans différence, avec des performances supérieures à celles du hasard. Une deuxième expérience a confirmé ces résultats et montré la nature implicite de l'apprentissage. L'étude révèle également que ces auditeurs entendent implicitement certaines transformations effectuées sur les œuvres sérielles. Cela tend à prouver que l'esprit humain a la capacité d'apprendre, sous certaines conditions, des grammaires sérielles. Le point sans doute le plus important est que cet apprentissage s'effectue implicitement. Autrement dit, l'oreille et le cerveau musical s'adaptent progressivement aux structures de la musique contemporaine, même aux structures complexes du système sériel, mais sans en avoir conscience. Ainsi, même si l'auditeur est très désorienté par cette musique, son cerveau en intègre les organisations et, de ce fait, modifie ses habitudes d'écoute.

L'apprentissage implicite de la musique ne se limite pas aux aspects syntaxiques (la combinaison des sons à petite échelle de temps), mais porte également sur les principes qui coordonnent les différentes parties de l'œuvre. Les structures à grande échelle (l'organisation des phrases musicales, par exemple) de la musique occidentale, du XVIIe siècle au début du XXe, étaient étroitement liées à la tonalité : les différentes parties d'une œuvre étaient marquées par des changements de tonalité, et des contrastes naissaient de l'éloignement à la tonalité initiale. En l'absence de tonalité, comment les structures à grande échelle de la musique contemporaine peuvent-elles être perçues ? Plusieurs études ont montré que ces structures ne sont plus portées par la tonalité, mais, par exemple, par le degré de dissonance, la densité de sons, les changements de dynamique, de registre ou de tempo. Selon la psychologue belge Irène Deliège, cette perception s'appuie sur les traits les plus saillants (par exemple un contraste d'intensité), sur les silences ou sur les figures les plus caractéristiques (par exemple un motif mélodique court facilement mémorisable). D'après ses études, musiciens et non-musiciens perçoivent ces structures temporelles d'une façon très semblable.

R. Reynolds a composé *The Angel of Death* (1998-2001), une pièce pour piano, ensemble instrumental et sons produits par ordinateur, qui, en plus des objectifs purement artistiques, a permis aux chercheurs d'avoir des stimulus réellement musicaux et inconnus des sujets. La pièce repose sur cinq longs thèmes, lesquels sont repris avec des modifications, dans la deuxième partie de la pièce, afin de tester la sensibilité des auditeurs à la similarité et aux variations (par exemple un changement d'instrumentation).

Une familiarité insoupçonnée

Nous avons étudié comment les auditeurs perçoivent la structure des thèmes, c'est-à-dire comment ils identifient les différentes phrases en suivant la progression musicale. Globalement, les structures perçues correspondent à celles indiquées par le compositeur sur la partition. Cependant, les sujets ont rencontré des difficultés lorsque la tâche était plus abstraite. Lorsqu'on leur a demandé de comparer des paires d'extraits et de dire s'ils appartenaient au même thème, ils ont eu des difficultés (surtout les non-musiciens). Juger si tel extrait apparaît au début ou à la fin du thème semble encore plus difficile. La perception de la structure temporelle de chaque thème semble requérir des capacités de mémorisation importantes.

Une autre étude a exploré ce que ressentent les auditeurs à l'écoute de *The Angel of Death* lors de la création de la pièce à Paris, puis à San Diego, en 2001 *(voir la figure 3)*. Les participants devaient suivre la progression musicale en indiquant avec le curseur d'un boîtier relié à un ordinateur leur sentiment de familiarité, c'est-à-dire s'ils avaient l'impression de reconnaître des éléments déjà entendus dans la pièce. Les participants d'un autre groupe devaient indiquer comment ils ressentaient la force expressive dégagée par la musique. Les résultats montrent que les auditeurs ne réagissent pas de façon précise à la structure de l'œuvre, mais que



4. Les films nous familiarisent avec la musique contemporaine. Ainsi, celle de la fin du film *2001 l'Odyssée de l'espace* est l'œuvre d'un des principaux compositeurs vivants, György Ligeti.

leurs réponses coïncident avec les moments essentiels de l'œuvre. Ainsi, les moyennes des jugements de familiarité sont plus élevées dans la seconde moitié de la pièce, c'est-à-dire lorsque les auditeurs reconnaissent les thèmes entendus dans la première moitié. Lorsqu'un nouvel élément thématique apparaît dans la première moitié de la pièce, la courbe de familiarité s'infléchit, puis remonte, ce qui indique que les auditeurs ont perçu la nouveauté. Ainsi, les structures temporelles de la musique contemporaine semblent être intégrées implicitement par les auditeurs, même si, explicitement, la pièce leur paraît incompréhensible à la première écoute.

Peut-on conclure que le cerveau humain est sur le point de relever le défi lancé par la musique contemporaine ? La réponse est positive au regard des données empiriques qui viennent d'être résumées. Elle l'est aussi si l'on considère comment les révolutions esthétiques engendrées par les compositeurs contemporains modifient l'ensemble des styles musicaux de la musique occidentale et, petit à petit, s'immiscent dans les médias. L'exemple le plus probant est celui du cinéma. Les cinéastes de la nouvelle vague ont collaboré pour la musique de leurs films avec des compositeurs contemporains. Ce fut notamment le cas de la musique si prenante de la fin de *2001 l'Odyssée de l'espace* de Stanley Kubrick, signée de l'un des plus grands compositeurs vivants : György Ligeti.

Cependant, l'habituation à de nouveaux systèmes musicaux demande du temps : Giovanni Maria Artusi n'a-t-il pas qualifié « d'insupportables à l'oreille » les madrigaux de Monteverdi, dans un essai sur *Les imperfections de la musique moderne* (1600-1603) ?

La force de l'habituation

Si notre cerveau parvient petit à petit à assimiler les structures sonores qui hier nous semblaient si complexes, voire inaudibles, peut-on dire pour autant que la musique a modifié notre intellect en nous faisant découvrir des horizons sonores nouveaux ? Il est sans doute prématuré de dire aujourd'hui que l'« effet Mozart » sera bientôt complété par un « effet Boulez », mais il y a tout lieu de penser que l'assimilation de ces nouveaux langages musicaux conduit notre intellect vers de nouvelles formes de pensée et de représentation du monde que nous n'aurions pas développées si nous étions restés figés dans nos habitudes perceptives et cognitives. D'ailleurs, l'art n'a-t-il pas pour fonction essentielle de solliciter nos systèmes de perception pour les conduire toujours un peu plus loin, comme si la création artistique était un moteur essentiel de l'évolution du cerveau humain ? ■

Bibliographie

P. Lalitte et al., *The perceptual structure of materials in The Angel of Death*, in *Music Perception*, in *Special issue Creation and Perception of a Contemporary Musical Work : The Angel Project*, vol. 22, n° 2, 2005.

Z. Dienes et C. Longuet-Hoggins, *Can musical transformations be implicitly learned ?*, in *Cognitive Science*, vol. 28, pp. 531–558, 2004.